
СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

УДК 378.016:530.1:504.75

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ИНЖЕНЕРА-ЭКОЛОГА И НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ ЗНАНИЯ ФИЗИКИ

Т. С. ЧИКОВА¹⁾, С. Е. ГОЛОВАТЫЙ¹⁾, С. А. МАСКЕВИЧ¹⁾

¹⁾Международный государственный экологический институт
им. А. Д. Сахарова, Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Проанализирована роль экологических рисков, решение которых определяет сохранение и прогресс цивилизации. Обоснован рост значимости профессии эколога в современном мире и необходимость расширения экологических специальностей. Дана характеристика профессиональных компетенций инженера-эколога. Отмечена роль физики в формировании знаний и умений, необходимых для успешной реализации профессиональных компетенций эколога. Рассмотрены основные законы и положения физики, знание которых обеспечивают эффективную подготовку специалистов экологического профиля в области природоохранной деятельности. Показано, что с учетом важности междисциплинарных знаний в понимании взаимосвязи природных и техногенных процессов, а также роли антропогенного

Образец цитирования:

Чикова ТС, Головатый СЕ, Маскевич СА. Профессиональные компетенции инженера-эколога и необходимые для их формирования знания физики. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2021;4:4–19.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-4-4-19>

For citation:

Chikova TS, Golovatyi SE, Maskevich SA. Professional competences of environmental engineer and the knowledge of physics required for their formation. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021;4:4–19. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2021-4-4-19>

Авторы:

Тамара Семеновна Чикова – доктор физико-математических наук, доцент; профессор кафедры общей и медицинской физики.

Сергей Ефимович Головатый – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента.

Сергей Александрович Маскевич – доктор физико-математических наук, профессор; директор.

Authors:

Tamara S. Chikova, doctor of science (physics and mathematics), docent; professor at the department of general and medical physics.

chikova.tamara@iseu.by

Sergey E. Golovatyi, doctor of science (agriculture), full professor; head of the department of environmental monitoring and management.

sscience@yandex.ru

Sergey A. Maskevich, doctor of science (physics and mathematics), full professor; director.

MaskevichSA@bsu.by

фактора в глобальных экологических проблемах, современная традиционная структура физического образования в системе профессиональной подготовки инженера-эколога в учреждении высшего образования требует совершенствования.

Ключевые слова: экология; антропогенный фактор; природоохранная деятельность; инженер-эколог; высшее образование; физика.

PROFESSIONAL COMPETENCES OF ENVIRONMENTAL ENGINEER AND THE KNOWLEDGE OF PHYSICS REQUIRED FOR THEIR FORMATION

T. S. CHIKOVA^a, S. E. GOLOVATYI^a, S. A. MASKEVICH^a

*^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daïhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: S. A. Maskevich (MaskevichSA@bsu.by)*

The role of environmental risks, the solution of which determines the preservation and progress of civilization, is analyzed. The article substantiates the growing importance of the ecologist profession in the modern world and the need to expand the range of environmental specialties. The characteristic of the professional competencies of an environmental engineer is given. The role of physics in the formation of knowledge and skills necessary for the successful implementation of professional competencies of an ecologist is noted. The basic laws and regulations of physics are considered, the knowledge of which provides effective training of environmental specialists in the field of environmental protection. It is shown that taking into account the importance of interdisciplinary knowledge in understanding the relationship between natural and man-made processes, as well as the role of the anthropogenic factor in global environmental problems, the modern traditional structure of physical education in the system of professional training of an environmental engineer in a higher educational institution requires improvement.

Keywords: ecology; anthropogenic factor; nature conservation activities; environmental engineer; higher education; physics.

Введение

Современная цивилизация развивается стремительно. Экономисты, философы и футурологи считают, что четвертая промышленная революция уже произошла [1]. В жизнь человека прочно вошли интернет, роботы, 3D-печать, беспилотные летательные аппараты, самоуправляемый и сверхскоростной транспорт, «умный» дом, бионические протезы, редактирование генома, суперматериалы и др. Однако достижения и инновации в различных областях технологий не только облегчают жизнь, но и резко обостряют старые техногенные проблемы, порождая новые. В перечне глобальных проблем современности, от решения которых зависит сохранение и прогресс цивилизации [2], вторая по значимости после проблемы новой мировой войны стоит экологическая проблема, обусловленная главным образом антропогенными факторами.

Системный анализ глобальных экологических проблем свидетельствует [3; 4], что около 50 % вклада в загрязнение окружающей среды вносят производство и потребление энергетических ресурсов (нефть, уголь, газ, электроэнергия). Связь между глобальными экологическими и энергетическими проблемами настолько очевидна, что в настоящее время современные средства коммуникации позволяют в онлайн режиме получать актуальную информацию по экологической статистике как в мире в целом, так и в отдельных странах и регионах. Они формируют рейтинги стран по уровню экологии, приводят информацию о непоправимом ущербе, наносимом загрязнением биосферы продуктами жизнедеятельности человека. По данным отчетов интернет-сайта статистических обзоров мировой энергетики BP¹, сайта Международного энергетического агентства IEA², сайтов экологической статистики³ и индекса загрязнения окружающей среды по странам⁴, сайта рейтинга городов по качеству воздуха (AQI) в реальном времени⁵ разрушительное

¹Statistical Review of World Energy 2021. 70th edition. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf> (дата обращения: 19.11.2021).

²Global Energy Review 2021. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021> (дата обращения: 19.11.2021).

³Экологическая статистика. URL: <https://vawilon.ru/jekologicheskaja-statistika/> (дата обращения: 19.11.2021)

⁴Индекс загрязнения окружающей среды по странам в середине 2021 года. URL: https://www.numbeo.com/pollution/rankings_by_country.jsp (дата обращения: 19.11.2021).

⁵Рейтинга городов по качеству воздуха (AQI) в реальном времени. URL: <https://www.iqair.com/ru/world-most-polluted-countries> (дата обращения: 19.11.2021).

влияние антропогенной деятельности человека на природу привело к тому, что к настоящему времени произошла деградация более 15 % сухопутной части Земли, каждый час около 687 га продуктивных земель превращаются в пустыню, исчезают 5–6 представителей флоры и фауны. Для 250 млн человек стала проблемой нехватка качественной питьевой воды. Естественные водоемы ежегодно загрязняются около 500 млрд т нефти, бытовых и промышленных стоков. Ежегодный рост выбросов углекислого газа в атмосферу приводит к изменению климата, возникновению экстремальных погодных явлений, расширению зон обитания таких насекомых-переносчиков смертельных болезней, как москиты и клещи.

Статистические данные агентства ВР (рис. 1, 2) показывают устойчивый рост мирового потребления энергии и выбросов углекислого газа в последнее десятилетие (сокращение спроса на энергоносители и выбросов углекислого газа в 2020 г. связаны с мерами, принятыми для ограничения пандемии COVID-19).

Очевидно, что сохранение этой тенденции приведет к тому, что актуальность подготовки специалистов экологов со временем будет только возрастать.

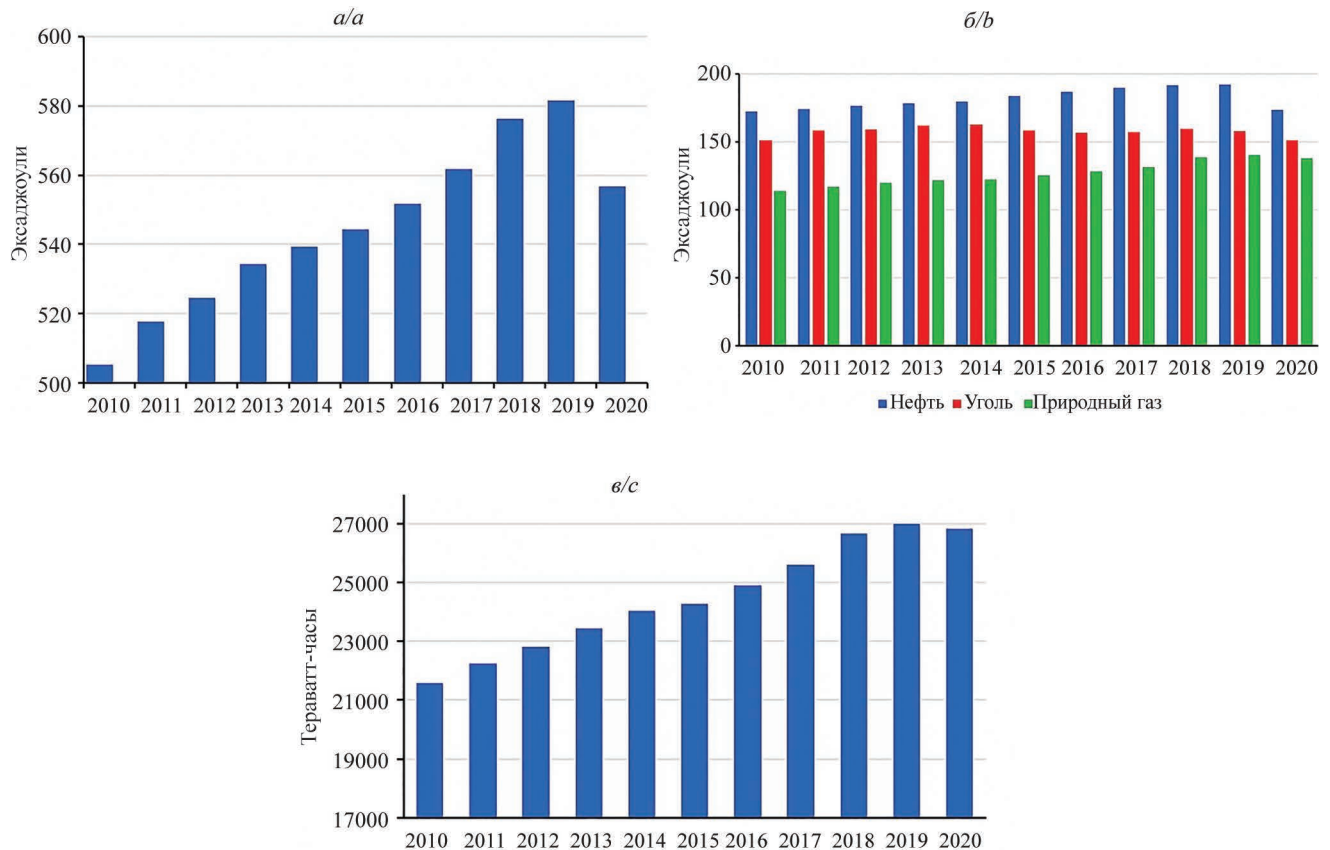


Рис. 1. Статистика мирового потребления энергии в целом (а), мирового потребления нефти, угля, природного газа (б), мирового производства электроэнергии (в)

Fig. 1. Statistics of world energy consumption in general (a), world consumption of oil, coal, natural gas (b), world electricity production (c)

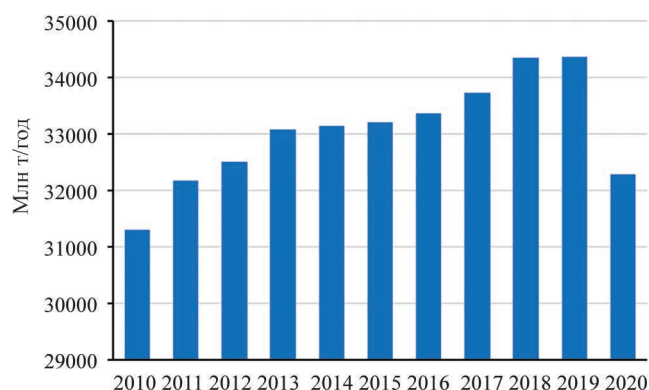


Рис. 2. Статистика мировых выбросов углекислого газа

Fig. 2. Statistics of world carbon dioxide emissions

Профессия эколога имеет широчайшие перспективы. Во-первых, антропогенные факторы, обусловленные различными формами негативного влияния деятельности человека на природу, диктуют необходимость создания на многих предприятиях отделов и управлений экологической безопасности. Во-вторых, возникают большие потребности в грамотных специалистах, способных разрабатывать и создавать экологически здоровую и комфортную среду обитания человека в условиях урбанизации и глобальных экологических рисков.

Рынок труда тонко реагирует на потребности времени: исчезают традиционные профессии и появляются новые. Эксперты в области рынка труда, прогнозирующие востребованность профессий на перспективу, утверждают, что эколог – профессия будущего и предсказывают появление таких новых профессий, связанных с экологией и техносферной безопасностью, как эоаудитор комплексной безопасности в промышленности, дистанционный координатор безопасности, специалист по преодолению системных экологических катастроф, эоаналитик в добывающих отраслях, эоаналитик в строительстве, парковый эколог, урбанист-эколог, эколог-логист, рециклинг-технолог, архитектор живых систем и др.

В нормативных документах, принятых в Республики Беларусь, большое внимание уделено экологической безопасности, как необходимому условию для устойчивого и сбалансированного развития страны (см. «Стратегия в области охраны окружающей среды Республики Беларусь на период до 2025 года»⁶). На государственном уровне право граждан на благоприятную окружающую среду и получение полной, достоверной и своевременной информации о ее состоянии гарантировано статьей 34 Конституции Республики Беларусь.

Экологическая безопасность реализуется в стране через систему мер и механизмов, обеспечивающих защищенность окружающей среды, жизни и здоровья граждан от вредного воздействия хозяйственной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Она включает нормативно-правовую базу и инфраструктуру экологической защиты, систему мониторинга окружающей среды, информирование и экологическое просвещение населения, научное экологическое обеспечение, подготовку квалифицированных кадров экологического профиля,

Профессиональные компетенции специалиста «Эколог. Инженер по охране окружающей среды»

Компетентный подход в высшем образовании предполагает подготовку специалистов, обладающих знаниями, умениями и опытом, необходимыми для решения теоретических и практических задач в сфере своей профессиональной деятельности. Для специалистов экологического профиля, занятых в различных отраслях народного хозяйства и государственном управлении, такой подход подразумевает формирование и развитие практико-ориентированной компетентности, позволяющей ставить задачи, выработать и принимать решения с учетом их социальных, экологических и экономических последствий. Требования к профессиональным компетенциям специалистов-экологов отражают как функциональные аспекты экологической деятельности в целом, так и специфические особенности, определяемые профессиональной сферой.

Образовательный стандарт I ступени высшего образования по специальности «Природоохранная деятельность», определяет требования к содержанию образования и уровню подготовки выпускников вуза. Он устанавливает, что освоение образовательных программ должно обеспечить формирование трех групп компетенций: универсальных, базовых профессиональных и специализированных компетенций.

Основные универсальные компетенции заключаются в том, что специалист должен владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации, решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе применения информационно-коммуникационных технологий; быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности; проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности; обладать гуманистическим мировоззрением, качествами гражданственности и патриотизма; обладать современной культурой мышления; уметь использовать основы философских знаний в профессиональной деятельности; выявлять факторы и механизмы исторического развития, определять общественное значение исторических событий; понимать основные категории политологии и идеологии, специфику формирования и функционирования политической системы и особенности идеологии белорусского государства; анализировать социально-значимые явления, события и процессы, использовать социологическую и экономическую информацию; проявлять предпринимательскую инициативу; использовать языковой материал в профессиональной области (в том числе на иностранном языке).

Специалист, получающий квалификацию «Эколог. Инженер по охране окружающей среды», в сфере производственной деятельности должен обладать следующими основными базовыми профессиональными компетенциями: применять теоретические и методологические положения физики и высшей математики для решения прикладных задач в сфере экологии и рационального природопользования; применять

⁶Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. URL: https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_1670219329-ru/ (дата обращения: 19.11.2021).

основные фундаментальные знания и понятия общей, неорганической и органической химии, основные химические свойства и методы получения простых веществ, оценивать их влияние на окружающую среду и здоровье человека; применять технологические методы охраны окружающей среды в своей профессиональной деятельности; использовать основные принципы и методы технологий основных производств в области охраны окружающей среды и рационального природопользования; применять основные процессы и оборудование в области охраны атмосферного воздуха и гидросферы от загрязняющих веществ; анализировать основные свойства, закономерности функционирования, динамики и эволюции биосферы, главные функции биоты в биосфере, ее экологическое значение и особенности хозяйственного использования; анализировать особенности процессов почвообразования в различных природных условиях, типологии почв и закономерности территориального размещения типов почв, проводить оценку экологического состояния почв и определять их основные агрохимические свойства; использовать методические подходы при оценке планируемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду; применять нормы законодательства и технические нормативные правовые акты в области охраны окружающей среды; применять экологические требования к проектированию объектов санкционированного размещения промышленных и твердых коммунальных отходов, использовать основные методы и способы переработки различных видов отходов, применять методологические подходы к извлечению вторичных материальных ресурсов и пути снижения образования отходов; использовать данные системы мониторинга окружающей среды и природно-ресурсных кадастров для оценки экологического состояния компонентов окружающей среды; применять основные методы государственного управления охраной окружающей среды и рациональным природопользованием в своей профессиональной деятельности; использовать современные энергосберегающие технологии и типовые энергосберегающие мероприятия в своей профессиональной деятельности; анализировать источники информации, выделять наиболее существенные факты, давать им собственную оценку и интерпретацию, использовать на практике понятийно-категориальный аппарат, принятый в среде специалистов в области природоохранной деятельности, в том числе на иностранном языке; применять научные подходы, концепции и методы, выработанные в рамках современных социальных, экономических и естественных наук для самостоятельного анализа теоретических проблем, оценки состояния окружающей среды и факторов антропогенного воздействия на нее; применять основные методы защиты населения от негативных факторов антропогенного, техногенного, естественного происхождения, принципы рационального природопользования и энергосбережения, обеспечивать здоровые и безопасные условия труда.

Важными для инженера-эколога являются специальные компетенции, обеспечивающие комплекс требуемых характеристик специалиста и направленные на получение основополагающих знаний по специальности, специальных и междисциплинарных знаний, позволяющих осуществлять производственную деятельность инженера-эколога.

Совокупность универсальных, базовых профессиональных и специализированных компетенций должна обеспечивать специалисту способность осуществлять не менее, чем один вид профессиональной деятельности, решая при этом не менее одного типа задач профессиональной деятельности.

Очевидно, что инженер-эколог, обладающий прочными базовыми научно-теоретическими знаниями, приемами использования технических устройств, владеющий исследовательскими навыками, сможет реализовывать междисциплинарный подход при решении экологических проблем и порождать новые идеи. Он будет способен адаптироваться к быстро изменяющимся условиям труда, требующих повышения квалификации в течение всей жизни.

Вопросы физики при подготовке специалиста в области экологии

Классический термин «экология», введенный в 1866 г. Э. Геккелем для обозначения биологической науки, изучающей взаимодействие живых организмов, их сообществ между собой и с окружающей средой, в настоящее время приобрело новое толкование: его главным содержанием стало представление об уровне техногенного загрязнения окружающей среды. Причины современных экологических проблем часто выходят далеко за рамки традиционной экологии и их решение требует системного анализа, основанного на знаниях из различных областей физики, химии и биологии о взаимоотношении человека и природы в целом. При таком подходе экология рассматривается как проблемно-ориентированная комплексная наука, занимающаяся изучением процессов антропогенного воздействия на окружающую среду и разработкой методов уменьшения этого воздействия, как важнейшей и смыслообразующей составляющей взаимодействия человека и окружающей среды.

Очевидно, что в основе многих технологий и отраслей, являющихся основными источниками загрязнения окружающей среды, лежат такие достижения физики, как, например, физические поля, энергетика, атомная промышленность и др. С другой стороны, физика не только создает, но и решает экологические проблемы. Она предлагает и разрабатывает физико-математические модели природных и техногенных

процессов для исследования влияния антропогенных воздействий на функционирование экосистем. На основе широкого спектра физических методов изучения строения и свойств вещества разрабатываются эффективные средства мониторинга экосистем различного уровня. В развитии экологии как науки, интегрирующей совокупность знаний о биосфере и антропогенных факторах, важная роль принадлежит физике.

Для того чтобы специалист-эколог, получивший образование в современном высшем учебном заведении, долго оставался востребованным в своей профессиональной сфере в условиях ускорения научно-технологического прогресса и возрастающего масштаба воздействия человека на природу, он должен обладать прочными фундаментальными знаниями физики, а также глубоко понимать ее место, роль законов и принципов в различных экологических процессах. Традиционное преподавание курса физики в высшем учебном заведении предполагает подробное изложение основных физических принципов и законов в следующей последовательности: механика, молекулярная физика и термодинамика, электричество и магнетизм, оптика, атомная и ядерная физика. На ряде примеров проанализируем, как положения, принципы и законы физики объясняют возможные экологические риски и указывают на пути их предотвращения. При этом нужно учитывать, что физическое объяснение многих явлений и процессов природы и техники требует привлечения ряда понятий и законов физики из различных разделов дисциплины. Итак, для формирования цельного научного представления о таких явлениях и процессах их изучают с разносторонних позиций и в различных разделах.

Механика. Физические методы мониторинга окружающей среды, работа ряда приборов и оборудования, используемых для очистки воздуха и воды, основаны на законах кинематики и динамики вращательного движения [5; 6]. Например, приборы, предназначенные для измерения скорости движения воздушных потоков (анемометры) построены на принципах преобразования энергии поступательного движения воздуха в механическое вращение. В основу работы инерционных газовых фильтров, центрифуг и ультрацентрифуг для очищения воды от песка, глины, органических веществ и разделения многокомпонентных руд на фракции с разными характеристиками положены процессы седиментации и сепарации, обусловленные силами гравитации и центробежными силами инерции.

Многие механические процессы, протекающие в биосфере обусловлены силой тяжести и ускорением свободного падения – важнейшими физическими факторами среды обитания на Земле. Гравитация обеспечивает выпадение вредных частиц пыли и дыма из атмосферы на Землю, вызывающее пагубные экологические последствия [7]. Однако этот же физический принцип используется в борьбе с загрязнением воды: под действием силы тяжести происходит оседание примесей на дно отстойников.

Использование закона сохранения импульса для построения реактивного двигателя обеспечило технологический прорыв, открывший человеку дорогу в космос. В то же время освоение космоса привело к появлению больших экологических рисков. Физические процессы, сопровождающие работу реактивного двигателя, – это оседание на землю экологически агрессивных частиц при выбросе газов, нагревание и шум сильно загрязняют окружающую среду. С другой стороны, космические аппараты играют большую роль в контроле за состоянием атмосферы, позволяют своевременно обнаруживать опасные явления природы: ураганы, пожары, извержения вулканов и др. [8]. Искусственные спутники Земли используются для изучения глобального влияния производственной деятельности людей на природу нашей планеты.

Физические понятия «работа», «мощность» и «механическая энергия» используются при анализе многих экологических задач и разработке методов их решения (коэффициент полезного действия и экологическая безопасность различных механизмов, способы увеличения полезной работы, рациональное использование энергии рек, ветроэнергетики и др.). Они взяты за основу объяснения таких экологических проблем, как понижение уровня грунтовых вод при добыче полезных ископаемых открытым способом, негативное влияние орошения и осушения на микроклимат, нарушение экологического равновесия при строительстве каналов, шлюзов и водопроводов лежит закон сообщающихся сосудов гидростатики [9]. Архимедова сила и условия плавания тел обеспечивают сплав древесины по рекам и судоходство, однако порождают следующие экологические проблемы: разрушение берегов, загрязнение водоемов и перенос загрязнения водными путями, пагубное влияние на рыболовство, образование нефтяной пленки на поверхности воды, аварии судов, перевозящих химически опасные грузы [10].

Количество людей, страдающих вирусными и бактериальными заболеваниями, а также различными формами аллергий, вызванными патогенными взвешьями в воздухе, растет в мире с каждым годом. Наука, изучающая перенос биологических аэрозолей в пространстве, называется аэриобиологией и основывается на физических законах аэродинамики [11]. Кроме того, законы аэродинамики объясняют роль аэрозольных загрязнений в атмосферном воздухе как центров конденсации, влияющих на процессы образования облаков [12]. Механические колебания и волны, особенно акустического диапазона, также вносят значительный вклад в физическое загрязнение окружающей среды [13]. Характер и степень воздействия звуковых волн на живые организмы зависит от их частоты и интенсивности [14]. Беспорядочные звуковые колебания сложного спектра образуют шум. При превышении допустимого для человека уровня

в 80 дБ происходит шумовое загрязнение [15]. Как утверждают медики, длительное шумовое воздействие, выходящее за пределы указанного диапазона, оказывает на здоровье человека более сильное негативное действие, чем газохимическое, промышленное и транспортное. Оно сравнимо с действием повышенной радиации [16].

К опасным для живых организмов относятся и такие воздействия, как вибрация и инфразвук [17]. Вибрация – механические колебания с большой частотой и малой амплитудой – приводит к нарушениям сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, дегенеративным изменениям костных тканей, повреждениям слуха. Инфразвук (упругие волны с частотами меньшими, чем область частот, воспринимаемых человеком) может вызвать у человека нарушение биоритмов, головные боли, беспокойство. Инфразвук с частотой 7 Гц смертелен для человека и его действие приравнивают к психотропному оружию. Ультразвук – звуковые волны, имеющие частоту выше воспринимаемых человеческим ухом, то есть выше 20 000 Гц, с успехом применяемый в диагностике и лечении заболеваний, при продолжительном и интенсивном воздействии также может стать поражающим фактором.

Молекулярная физика и термодинамика. Роль этого раздела физики в понимании и решении экологических проблем особенно значима, поскольку биосфера – это область существования живых организмов на Земле, которая постоянно обменивается веществом, энергией и информацией с земными недрами, верхними слоями атмосферы и космосом [18–22]. С физической точки зрения она является сложной нелинейной многоуровневой открытой термодинамической системой. Специалист-эколог должен знать допустимые нормы изменения термодинамических параметров экосистемы (температура, объем, атмосферное давление, теплоемкость, влажность), обеспечивающих ее нормальное функционирование.

От состава и физических параметров атмосферы зависит существование жизни на Земле и экологическая безопасность всех организмов. Под действием антропогенных факторов происходит загрязнение атмосферы, изменяется ее состав и термодинамические параметры, нарушается экологическое равновесие [23]. Распространение вредных веществ в атмосфере происходит путем физических процессов диффузии, конвекции и турбулентного перемешивания [24].

Загрязняющие атмосферу вещества по агрегатному состоянию можно разделить на три вида: твердые, жидкие (пары) и газообразные. Экологические последствия их действия различны: рассеивание продуктов сгорания топлива в верхних слоях атмосферы в результате авиapolетов на больших высотах [25], запуска ракет и спутников, а также выброс фреонов в воздух приводят к уменьшению озонового слоя [26]. Попадающий в атмосферу диоксид серы в результате химических реакций образует аэрозоли из сернистой и серной кислот, которые в результате конденсации водяного пара становятся причиной выпадения кислотных дождей. Изменение прозрачности атмосферы для излучения Солнца в оптическом диапазоне из-за скопления в ней парниковых газов способствует повышению такого важнейшего физического параметра биосферы, как температура ее нижних слоев, что сопровождается изменением климата Земли. Атмосферная диффузия вредных примесей в воздухе от промышленных центров является причиной образования смога в мегаполисах [27]. Диффузионный солевой обмен между атмосферой и океаном – причина коррозийной агрессивности атмосферы в прибрежных районах.

Еще один важный физический параметр среды обитания, оказывающий определяющее влияние на биологические системы – влажность воздуха. Комфортная для человека влажность составляет 30–60 % и ее повышение или понижение вследствие изменения состава воздуха отрицательно влияет на организм [28]. Высокая влажность при температурах ниже –30 °С является физической причиной такой экологической проблемы, как «ледяной смог», возникающий в городах, расположенных в северных широтах и состоящий в том, что в воздухе образуются небольшие кристаллики льда, к которым прикрепляются имеющиеся в атмосфере частицы вредных веществ, образуя густой туман, который нарушает дыхание и кровообращение человека.

Физические термодинамические законы объясняют такие экологические состояния, явления и процессы, как тепловой баланс Земли и причины его возможного нарушения [29]; влияние изменения температуры и давления на сбалансированность обмена веществ и энергии в природе; засоление почвы и влияние засоленности воды на температуру льдообразования; загрязнение поверхности водоемов, обусловленное поверхностным натяжением и смачиванием, приводящие к уменьшению испарения воды и выпадения осадков; явление смачивания как одного из факторов в самоочищении водоемов от примесей; питание растений за счет капиллярных явлений в почве; неспособность почвы, лишенной растительности, поглощать дождевую воду, приводящее к нарушению ее водного баланса [30]; диффузионный газообмен между почвой и воздухом, диффузионный перенос питательных веществ из почвы к корневой системе растений и др. [31–33].

Особое место в термодинамике занимают экологические проблемы теплоэнергетики, теплопередачи, автомобильного транспорта, повышения коэффициента полезного действия тепловых машин. Сжигание традиционного органического топлива (уголь, нефть, газ) – основной фактор загрязнения биосферы [34]. Из-за огромных выбросов в атмосферу токсичных веществ и тепла при работе тепловых электростанций природе наносится невосполнимый ущерб [35]. Остро встала проблема «парникового эффекта» [36; 37],

возникающего из-за выбросов углекислого газа при сжигании органического топлива, вызывающего глобальное потепление климата на планете [38]. Проблема увеличения углекислого газа в атмосфере из-за промышленных и транспортных выбросов в настоящее время стала одной из самых актуальных научных проблем [39]. Например, работа D. W. Keith, et al. [40], посвященная улавливанию углекислого газа из атмосферы, входит в число пяти самых цитируемых работ мира.

Переход от тепловых электростанций к атомным уменьшает химическое, но одновременно увеличивает тепловое загрязнение, которое меняет температурный режим воздушной и водной окружающей среды, а также нарушает динамику происходящих там экологических процессов [41]. При ресурсосбережении и уменьшении антропогенного воздействия на биосферу очевидна необходимость освоения возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, замена на транспорте тепловых двигателей электрическими [42].

Термодинамика биосферы Земли обусловлена поступлением энергии высокочастотного излучения от Солнца и рассеиванием ее в космос в форме теплового излучения. Согласно закону Больцмана, в результате этого процесса энтропия в системе «Солнце–Земля» возрастает, то есть материя в изолированной системе стремится к хаотическому состоянию [43]. В то же время, благодаря солнечной энергии на Земле, происходят обратные энтропийные процессы – процессы самоорганизации. В результате фотосинтеза солнечная энергия преобразуется в высокоорганизованную материю, что приводит к повышению степени порядка в системе. Для таких процессов ввели новый термин – негэнтропия как мера стремления к упорядоченности. Негэнтропию принято рассматривать как отрицательную энтропию [44]. Вмешательство человека в деятельность экосистемы приводит к увеличению ее неупорядоченности, то есть к снижению негэнтропии. Соблюдение отрицательного энтропийного баланса Земли является залогом устойчивого развития нашей экосистемы [45].

Электричество и магнетизм. Вся биосфера и пространство за ее пределами заполнены электрическими и магнитными полями космического, техногенного и биогенного происхождения [46]. Кроме того, наша планета Земля – это большой магнит со своим магнитным полем, в котором протекают все экологические процессы [47]. Естественные электромагнитные излучения (магнитное поле Земли, радиоизлучение Солнца, атмосферное электричество) для экосферы и человека не опасны. Многие биологические процессы в природе происходят при обязательном наличии электромагнитных полей.

Любое техническое устройство, которое вырабатывает или использует электрическую энергию, является источником электромагнитного излучения. Электромагнитные поля, создаваемые искусственными источниками, характеризуются различными физическими параметрами: частотой или длиной волны, интенсивностью, когерентностью, поляризацией волны. По диапазону частот и сфере применения их можно разделить на три группы: низкочастотные электромагнитные поля, широко применяемые в промышленности; высокочастотные, обеспечивающие работу телевидения, радиовещания, радиосвязи, медицинской техники; электромагнитные поля сверхвысоких частот, используемые в медицине, радиолокации, навигации, сотовой связи. В зависимости от видов и интенсивностей электромагнитных полей их позитивные и негативные воздействия на человека и природу многообразны [48]. Кроме того, характер и механизм воздействия электромагнитного излучения на живые клетки и организмы определяются диэлектрической проницаемостью, электрической проводимостью, магнитной проницаемостью, глубиной проникновения и коэффициентом отражения облучаемого объекта. На различные виды живых организмов одни и те же электромагнитные излучения влияют по-разному [49].

Сложные электромагнитные поля с разными частотами и интенсивностями, создаваемые одновременно несколькими источниками, расположенными в разных местах, при постоянном облучении выше установленных норм приводят к электромагнитному загрязнению, вызывающему изменение электромагнитных свойств среды обитания и негативные воздействия на здоровье людей и природу, к дисбалансу видов живых организмов и нарушению устойчивости экосистемы. Одним из его разновидностей является электросмог, характерный для густонаселенных мегаполисов, насыщенных техническим электрооборудованием, бытовыми электроприборами и разнообразными гаджетами, представляющий собой экологически вредные излучения с низкими и сверхнизкими частотами, одновременно создаваемыми несколькими источниками, производящими, передающими или использующими электромагнитную энергию. По эффективности и силе отрицательного воздействия на биосферу электромагнитное загрязнение окружающей среды в крупных городах на сегодняшний день приближается к загрязнению химическими веществами [50].

Характер и механизм воздействия электромагнитного излучения на физико-химические, биологические процессы и экологию в целом до конца не изучен. По мере роста потребностей в энергии острота экологической проблемы, обусловленной электромагнитным загрязнением окружающей среды, будет только нарастать и в ее решении важная роль принадлежит физикам и инженерам-экологам.

Одна из главных техногенных экологических проблем состоит в растущем загрязнении атмосферы продуктами сгорания топлива, используемого для получения электроэнергии. В настоящее время производство около 90 % электрической энергии осуществляется за счет трех видов энергоресурсов: органического топлива, воды и атомного ядра. Традиционная энергетика обеспечивает производство электроэнергии на

тепловых электростанциях (ТЭС), гидроэлектростанциях (ГЭС) и атомных электростанциях (АЭС). Каждый из этих способов получения электричества по-своему является источником загрязнения биосферы [51].

При работе ТЭС образуется огромное количество твердых отходов в виде золы и шлаков с токсичными химическими элементами, которые проникают в почву и подземные воды, выводя их из природопользования. Ее атмосферные выбросы содержат углекислый газ, тяжелые металлы и другие токсичные вещества различного характера действия; процесс горения на тепловой электростанции приводит к кислородному голоданию и изменению природного теплового баланса в регионе, прилегающем к станции. Вблизи ТЭС, работающих на угле, всегда превышен естественный радиационный фон; при сбросе отработанной воды происходит тепловое загрязнение природных водоемов; работа ТЭС способствует шумовому и электромагнитному загрязнению окружающей среды. Химическое загрязнение окружающей среды при сжигании топлива на ней является одной из доминирующих причин парникового эффекта и кислотных дождей.

Влияние ГЭС менее разрушительно для экосферы, однако при ее работе происходит шумовое и электромагнитное загрязнение; нарушаются естественные пути миграции рыб; создаются проблемы для водоснабжения, орошения и судоходства.

На АЭС тепловая энергия, получаемая при делении ядер радиоактивных изотопов урана, превращается сначала в механическую, а затем – в электрическую. Основная опасность атомной электростанции состоит в загрязнении окружающей среды радиоактивными отходами; тепловом загрязнении водоемов водой, используемой в производственном цикле; в опасности радиоактивного загрязнения среды при авариях и захоронении радиоактивных отходов [52].

Еще один электрический процесс, который создает опасные загрязнения окружающей среды – это электролиз. Он широко применяется в металлургии для извлечения и переработки металлов из руд и получения химически чистых металлов, является основой гальванического производства и обеспечивает работу химических источников тока. Гальваническое производство относится к наиболее опасным источникам загрязнения окружающей среды [53], агрессивность воздействия, масштабы и пагубность последствий которого превосходят разливы нефти и радиацию. Его основные загрязняющие факторы – это высокая концентрация вредных жидких, газообразных и пылевых аэрозолей в рабочих зонах цехов, большие объемы сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов и огромные количества твердых отходов, образующихся при реагентном обезвреживании отходов производства. Объединяясь в одних потоках, они оказывают совместное комбинированное действие на экосистему «вода–почва–растение–животный мир–человек».

Привычные в повседневной жизни батарейки также являются источником многих опасностей [54]. Входящие в их состав химические вещества (магний, ртуть, олово, свинец, никель, цинк, кадмий), попадая в организм человека и накапливаясь в нем, могут вызывать тяжелые заболевания; батарейки могут взрываться и наносить увечья и ожоги; при сжигании они выделяют отравляющие газы диоксины; при их захоронении на свалке вредные вещества в процессе разложения наносят огромный вред экологии. Мировые потребности в химических источниках электрического тока, а соответственно, их производство неуклонно растут, в результате чего проблема утилизации отработанных источников питания становится уже глобальной экологической проблемой.

Кажутся вполне безобидными такие физические явления, как электризация тел и статическое электричество. Однако в больших масштабах они создают проблемы на производстве, транспорте и плохо влияют на здоровье человека [55]. Статическое электричество возникает в результате контакта между материалами (трение, намотка–размотка, резание и др.); быстрого перепада температур; действия радиации, ультрафиолетового или рентгеновского излучения, сильных электрических полей, электромагнитной индукции. На производстве и транспорте при наличии пожаро- и взрывоопасных смесей, пыли и паров легко воспламеняющихся жидкостей искровой разряд статического электричества может вызвать пожар или взрыв. Физические методы защиты от статического электричества основываются либо на уменьшении интенсивности возникновения статических электрических зарядов, либо на устранении уже образовавшихся зарядов.

Электричество и магнетизм, с одной стороны, создают экологические проблемы, с другой – помогают устранять экологические риски, например, в области очистки воздуха и воды [56; 57]. Принцип действия электростатических очистителей воздуха основан на действии сил притяжения между частицами в воздухе и пластинами пылесборника, имеющими электрические заряды противоположной полярности. Для очистки воздуха используется также наносекундный стримерный разряд в камере с обрабатываемым газом, в результате чего образуются химически активные частицы, которые, взаимодействуя с вредными органическими примесями, либо сжигаются, либо превращаются в безопасные или легко улавливаемые соединения.

Очистка и обеззараживание сточных вод проводится с применением процессов электрокоагуляции, электроэкстракции, электрофлотации, а также с помощью электролиза или путем воздействия на воду постоянным магнитным полем, в результате чего растворенные в ней ионы кальция, кремния и магния теряют свою способность к солеобразованию (накипи). В основе технологии очистки жидкостей

с помощью магнитных наночастиц лежит принцип добавления в сточные воды магнитной жидкости, капельки которой, растворяясь в загрязнениях, делают их слабомагнитными. В магнитных сепараторах в области неоднородного магнитного поля происходит разделение загрязненных магнитных капель и немагнитной жидкости. Так, например, очищают воду, загрязненную нефтепродуктами.

Оптика. Раздел физики, который посвящен выяснению природы электромагнитного излучения, его распространению в различных средах и взаимодействию с веществом [58]. Свет как источник энергии для фотосинтеза является одним из основных факторов существования жизни на Земле. С другой стороны, прямое воздействие солнечного света на протоплазму живого организма смертельно опасно. При нормальных условиях биосфера сама регулирует оптимальное использование полезных составляющих света, а также обеспечивает ослабление вредных составляющих и защиту от них.

С точки зрения волновой оптики солнечное излучение – это спектр электромагнитных волн с разными длинами волн. Оно состоит из видимой области спектра (около 50 %), инфракрасных лучей (около 50 %), их часто называют тепловыми и ультрафиолетовых излучений (1 %), обладающих фотохимическим действием. Каждый спектральный диапазон солнечного излучения играет свою роль в экологическом благополучии Земли и любые отклонения от нормы приводят к дисбалансу в биосфере.

Изменение прозрачности атмосферы, степени ее однородности, величины фонового свечения, суточные перепады температур и сила ветра под действием антропогенного фактора приводят к световому загрязнению окружающей среды [59].

Источниками экологических угроз могут служить различные оптические явления и процессы [60], в частности, световой смог – ночное рассеивание света искусственных источников освещения в нижних слоях атмосферы. Он приводит к нарушению биоритмов растений и животных; изменяет поляризацию лунного света, используемую многими животными для навигации; препятствует нормальному ночному уменьшению атмосферного смога, создаваемого газами, выделяемыми днем автомобилями и производствами. Световое загрязнение затрудняет астрономические наблюдения из-за уменьшения контраста между небом и небесными светилами. А в сочетании с физическим загрязнением атмосферы вблизи больших сильно освещенных городов многие небесные объекты становятся вообще невидимыми. Загрязнения атмосферы приводит к изменению спектральной плотности потока и интенсивности солнечного излучения, что негативно влияет на процесс фотосинтеза.

Другая важная функция света состоит в том, что с помощью светового потока человек воспринимает окружающий мир и познает его. Практическое применение света в нашей жизни многогранно. Оптические приборы позволяют проникнуть в микромир и космос. Характеристики поглощаемого, отражаемого, рассеиваемого и испускаемого веществом света содержат уникальную информацию о строении вещества в целом, а также о его структуре на атомном и молекулярном уровне. Световой луч может резать тоньше скальпеля органические ткани в медицине и массивные листы металла в промышленности. С помощью света управляют химическими реакциями, передают информацию и др.

Законы взаимодействия оптического излучения с веществом и методы оптических наблюдений лежат в основе оптического экологического мониторинга [61; 62]. К ним относятся спектрометрические методы, основанные на фотометрии естественных и искусственных источников оптического излучения, методы лазерной спектрофотометрии, фурье-спектроскопии, методы спектральной прозрачности атмосферы. Особое значение имеют радиометрические методы, основанные на фотометрии потоков оптического излучения от природных источников. Методы ультрафиолетовой радиометрии и инфракрасной радиометрии связаны с измерениями в диапазонах, имеющих особую экологическую значимость. Метод поляризационной радиометрии применяется при исследовании поляризационных характеристик регистрируемого оптического излучения. Особенности угловой зависимости рассеяния падающего излучения отдельными частицами, например, аэрозолями или молекулами, используются в нефелометрическом методе. Неупругое рассеяние оптического излучения на молекулах атмосферы за счет эффекта Рамана реализуется в методе комбинационного рассеяния. Широко используемый метод дистанционного газоанализа основан на дифференциальном поглощении и рассеянии излучения.

Атомная и ядерная физика. Двадцатый век ознаменовался квантово-релятивистской революцией в физике. Обнаружение и изучение электрического тока в растворах (электролиз) и газах, рентгеновского излучения, явлений радиоактивности (α -, β -, γ -излучений), волновых свойств электронов и открытие нейтрона не только указали на сложную структуру вещества на уровне атомов и атомных ядер, но и привели к созданию квантовой механики как новой теории микромира. Тем самым были разработаны теоретические основы для понимания строения материи. Появились новые идеи, а затем и новые возможности для создания инструментов экспериментального исследования микромира. Без знаний физических основ строения электронных оболочек атомов и молекул невозможно понять химических свойств веществ окружающего нас мира и их взаимодействий с электромагнитным излучением, природу устойчивости и многообразия веществ (в том числе биологических объектов).

Разработка теории цепной ядерной реакции, высвобождающей колоссальную энергию, положили начало современной науке об атомной энергии. Ядерные реакции и ионизирующее излучение составили основу ядерных технологий. Энергия, заключенная внутри ядра атома, на сегодняшний день считается экологически самой чистой. Ядерная энергетика не потребляет кислорода и при нормальной эксплуатации имеет ничтожное количество выбросов. Ученые считают, что если ядерная энергетика полностью заменит традиционную энергетiku, то возможность глобального потепления будет устранена. Тем самым были разработаны теоретические основы для понимания того, как устроено и за счет каких сил и каких взаимодействий обеспечивается все многообразие веществ (в том числе биологических объектов) в природе. Появились новые идеи, а затем и новые возможности для создания инструментов экспериментального исследования микромира.

Излучение энергии ядрами атомов в виде частиц или электромагнитных волн, то есть радиация, влияющая на живые организмы, на Земле существовала всегда. Источники природного радиационного фона – это космическое излучение, природные радиоактивные вещества, радиоактивность оболочек Земли, радиоактивность горных пород, почв, природных вод и атмосферного воздуха [63]. Радиация влияет на климат на планете [64]. По мере освоения ядерных технологий и использования в хозяйственной деятельности источников радиоактивных излучений сформировался антропогенный радиационный фон [65]. Его образуют производство и использование искусственных радионуклидов и других источников ионизирующих излучений в науке, медицине и промышленности; добыча и переработка радиоактивного минерального и углеводородного сырья, атомная энергетика, ядерные реакторы исследовательского типа, полигоны для испытания ядерного оружия, ядерные взрывы в мирных целях, военные ядерные и термоядерные взрывы. Ядерные энергетические установки используются на атомных ледоколах и атомных подводных лодках. Радиоизотопные методы внедряются в ветеринарии, в птицеводстве и животноводстве. В здравоохранении возникло новое научное и практическое направление – ядерная медицина, в которой для диагностики и лечения заболеваний используются радионуклиды. Ядерная медицина потребляет свыше половины всех имеющихся в мире радиоактивных изотопов.

«Атом» широко проникает в жизнь человека со всем многообразием новых возможностей для изучения живых систем и диагностики их функционального состояния и, одновременно, с новыми рисками [66]. Свойства атомов или молекул взаимодействовать с излучением широкого диапазона энергий используется для экологического мониторинга окружающей среды, основанного на применении нейтронноактивационного, рентгеноспектрального, атомно-абсорбционного методов и атомно-эмиссионного анализа [67]. Без использования рентгеновского излучения, например, немыслима современная медицинская диагностика [68].

Наиболее опасными для создания серьезных экологических рисков, связанных с радиационным заражением, являются предприятия ядерного топливного цикла и военные объекты ядерных испытаний. Даже при самом тщательном соблюдении правил техники безопасности каждый реактор выбрасывает ряд радионуклидов, одни из которых распадаются быстро, другие – живут достаточно долго и даже остаются в биосфере практически бесконечно, распространяясь по всему земному шару. При нормальной работе ядерного реактора население, проживающее вблизи АЭС, получает дозы облучения, не превышающие нескольких процентов естественного радиационного фона, которые не влияют на здоровье. Однако при авариях радиационный фон может быть многократно превышен.

Атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки [69] и тяжкие последствия ряда аварий на АЭС и радиационно опасных объектах в мире показали глобальную значимость экологической проблемы радиоактивного заражения биосферы, которое может представлять угрозу самому существованию человечества на Земле.

Заключение

По мнению ученых, глобальная экосистема Земли представляет собой сложный комплекс взаимосвязей между сушей, водной средой, воздухом, биосферой и техносферой [70]. В частности, климатическая система состоит из четырех подсистем: атмосферы, гидросферы, криосферы и биосферы, получающих электромагнитное излучение Солнца. Такие системы имеют множество степеней свободы и характеризуются нелинейной динамикой эволюции. Для их понимания, изучения и оценки необходимо знать основы физики и других дисциплин, связанных с экологией (химия, биология и инженерия).

Анализ содержания профессиональной подготовки инженеров-экологов в странах Европы и в англоязычных странах – США, Великобритания и Австралия [71–74] показывает, что в мире не существует единой модели проектирования содержания учебных курсов физики университетского уровня для таких специальностей. Общим для всех подходов является наполнение содержания курса физики с учетом специализации инженерно-экологического образования и требований к профессиональным компетенциям выпускников учреждения высшего образования. В большинстве англоязычных университетских образовательных программах для экологов изучение физики осуществляется в рамках дисциплины «Физика окружающей среды» (Environmental physics), которая с физической точки зрения объединяет

процессы, происходящие в атмосфере, гидросфере (океаны), литосфере (суша) и биосфере (почва и растительность). Современная физика окружающей среды трактуется как наука о взаимодействии между организмами и окружающей средой с позиции физики экологических процессов и проблем. Ее основные принципы базируются на законах обмена излучением, теплом, массой и импульсом между организмами и окружающей их средой [75–77]. Издано много англоязычных учебников различных авторов, в которых содержание курса физики окружающей среды раскрывается с учетом поставленных дидактических задач и специализации обучающихся [78–81]. Углубление специализации инженеров-экологов осуществляется посредством модульности обучения, предполагающего представление информации в виде коротких курсов: физика и динамика атмосферы [82; 83], физика переноса массы и тепловой энергии [84; 85], физика Солнца, трансформации солнечной радиации и радиационный баланс [86; 87], основы геофизики [88], физика недр Земли [89], физика облаков и осадков [90], фазовые изменения в круговороте воды [91], физика почв и растворенных в них веществ [92], физика источников энергии [93], физика климата [94] и др., которые, с одной стороны, являются самодостаточными, с другой – связаны с другими модулями.

Из анализа учебных планов специальностей экологического инженерного профиля в нашей стране следует, что изучение физики в них носит, как правило, академический характер, без углубленной привязки к профилю обучающихся. Знание законов физики формирует научную базу понимания природных и техногенных процессов и является основой для изучения ряда последующих специальных технических дисциплин.

Исходя из тенденции интернационализации в сфере высшего образования, повышения академической мобильности и потребности в расширении возможностей экспорта образовательных услуг при совершенствовании подготовки инженеров-экологов, целесообразно учитывать лучшие мировые практики реализации профессиональных образовательных программ. Курс физики для экологов должен формировать понимание биосферы и человека в ней как целостной динамической системы, раскрывать иерархию уровней организации материи и физических полей и их влияние на экологию человека. Особое место должно быть отведено решению экологических задач методами физической науки в области энергетики на основе возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. Кроме того, инженер-эколог должен получить физические знания, необходимые при использовании и создании приборов и устройств для экологического мониторинга, разработке природоохранных методов и средств защиты, а также для проведения экологического просвещения среди населения. Профессиональная направленность в преподавании физики инженерам-экологам способствует формированию на начальной стадии обучения понимания важности получаемых знаний для профессионального становления, усиливает мотивацию к обучению, повышает творческую активность студентов и качество подготовки специалистов.

Библиографические ссылки

1. Турчин АВ, Батин МА. *Футурология. XXI век: бессмертие или глобальная катастрофа?* Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2013. 263 с.
2. Данилов-Данильян ВИ, Рейф ИЕ. *Биосфера и цивилизация*. Москва: Энциклопедия; 2016. 432 с.
3. Kovalenko K, Kovalenko N. Ecological problem of modernity as a global problem of humanity. *MATEC. Web of Conferences*. 2018;193:01033–01040. DOI:10.1051/mateconf/201819301033.
4. Chu S. The world's energy problem and what we can do about it. *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*. 2008;61(2):1001–1019. DOI:10.2307/40481324.
5. Elachi C, Van Zyl J. *Introduction to the physics and techniques of remote sensing*. Hoboken: John Wiley and Sons, Inc.; 2006. 584 p.
6. Rees WG. *Physical principles of remote sensing*. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 494 p.
7. Gendzwil DJ, Maybank J. Gravity variations and precipitation onset. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2011;6(5):1322–1324. DOI:10.1139/e69-134.
8. Marghany M, editor. *Environmental applications of remote sensing*. London: ExU4EvA; 2016. 405 p.
9. Moffatt HK, Shuckburgh E. *Environmental hazards: The fluid dynamics and geophysics of extreme events*. New Jersey: World Scientific; 2011. 333 p.
10. Klapp J, Medina A, Cros A. *Fluid dynamics in physics, engineering and environmental applications*. New York: Springer Heidelberg; London: Dordrecht; 2013. 533 p.
11. Ramachandran S. *Atmospheric aerosols: Characteristics and radiative effects*. Boca Raton: CRC Press; 2018. 295 p.
12. Tomasi C, Fuzzi S, Kokhanovsky A. *Atmospheric aerosols: Life cycles and effects on air quality and climate*. Hoboken: John Wiley and Sons; 2016. 700 p.
13. Loper DE. *Geophysical waves and flows. Theory and applications in the atmosphere, hydrosphere and geosphere*. Cambridge: Cambridge University Press; 2017. 520 p.
14. Barber JR, Warner KA, Theobald DM. Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Landscape Ecology*. 2011;26:1281–1295. DOI:10.1007/s 10980-011-9646-7.
15. Templeton N, editor. *Noise pollution and control*. New York: Library Press; 2017. 297 p.
16. Gill SA, Job JR, Myers K. Toward a broader characterization of anthropogenic noise and its effects on wildlife. *Behavioral Ecology*. 2015;26(2):328–333. <https://DOI.org/10.1093/beheco/aru219>.
17. Dutilleul G. Anthropogenic sound and terrestrial ecosystems: a review of recent evidence. In: *Conference. 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem 2017 June 18–22 Zürich (Switzerland)*. 2017. p. 1–9. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321376092>.

18. Salby ML. Physics of the atmosphere and climate. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 717 p.
19. Hughes P, Mason NJ. Introduction to environmental physics: Planet Earth, life and climate. Boca Raton: CRC Press; 2001. 490 p.
20. Schrijver CJ, Bagenal F, Sojka JJ. Heliophysics: Active stars, their astrospheres, and impacts on planetary environments. Cambridge: Cambridge University Press; 2016. 406 p.
21. Benestad RE. Solar activity and earth's climate. Berlin: Springer; 2006. 349 p.
22. Schrijver CJ, Siscoe GL. Heliophysics: Evolving solar activity and the climates of space and Earth. Cambridge: Cambridge University Press; 2010. 526 p.
23. Vallero DA. Environmental contaminants: Assessment and control. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2004. 801 p.
24. Pepper IL, Gerba CP, Brusseau ML. Environmental and pollution science. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2006. 552 p.
25. Ruijgrok GJJ, Van Paassen DM. Elements of aircraft pollution. Cambridge: Delft University Press; 2005. 407 p.
26. Saxena P, Naik V, editors. Air pollution: Sources, impacts and controls. Boca Raton: CAB International; 2019. 233 p.
27. Gurjar BR, Molina LT, Ojha CSP, editors. Air pollution: Health and environmental impacts. Boca Raton: CRC Press; 2010. 556 p.
28. Wolkoff P. Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International journal of hygiene and environmental health*. 2018;221(3):376–390. DOI:10.1016/j.ijheh.2018.01.015.
29. Jaupart C, Mareschal J-C. Heat generation and transport in the Earth. Cambridge: Cambridge University Press; 2010. 479 p.
30. Hillel D. Environmental Soil physics. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2003. 771 p.
31. Sivakumar MVK, Ndiang'ui N, editors. Climate and land degradation. Berlin: Springer; 2007. 628 p.
32. Teixeira WG, Ceddia MB, Ottoni MV. Application of soil physics in environmental analyses: Measuring, modelling and data integration. Berlin: Springer International Publishing; 2014. 508 p.
33. Iribarne JV, Godson WL. Atmospheric thermodynamics. New York: Springer Science and Business Media; 2012. 260 p.
34. Charles E Baukal Jr. Industrial combustion pollution and control. Boca Raton: CRC Press; 2003. 916 p.
35. Авдеев ВВ, Автономов АБ, Агабабов В. С. *Экология энергетики*. Москва: Издательство МЭИ; 2003. 716 с.
36. Tan Z. Air pollution and greenhouse gases. From basic concepts to engineering applications for air emission control. Berlin: Springer; 2014. 481 p.
37. Jacobson MZ. Air pollution and global warming. History, science, and solutions. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 375 p.
38. Dincer I, Colpan CO, Kadioglu F, editors. Causes, impacts and solutions to global warming. New York: Springer; 2013. 1171 p.
39. Jacobson MZ. Air pollution and global warming: History, science, and solutions. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 375 p.
40. Keith DW, Holmes G, Angelo DSt. Process for Capturing CO2 from the Atmosphere. *Joule*. 2018;2:1573–1594. DOI:10.1016/j.joule.2018.09.017.
41. Sayed ET, Awotwe TW, Elsaid K. A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal. *Science of the total environment*. 2020;766(5):1445050–1445068. DOI:10.1016/j.scitotenv.
42. Guidi G, Gugliermetti F, Violante AC. Environmental impact of nuclear energy and comparison with the alternatives. In: *Conference. ASME-ATL-UIT 2010 Conference on thermal and environmental issues in energy systems*. Sorrento (Italy). 2010. p. 1–7. DOI:10.13140/RG.2.1.1442.2482.
43. Favretti M. Remarks on the maximum entropy principle with application to the maximum entropy theory of ecology. *Entropy*. 2018;20(11):e20010011 (13 p.). DOI: 10.3390/e20010011.
44. Шредингер Э. *Что такое жизнь с точки зрения физики?* Москва: РИМИС; 2009. 176 с.
45. Harte J. Maximum entropy and ecology. A theory of abundance, distribution, and energetics. New York: Oxford University Press Inc.; 2011. 257 p.
46. Lühr H, Wicht J, Gilder SA, editors. Magnetic fields in the Solar system. Planets, Moons and Solar wind interactions. New York: Springer International Publishing; 2018. 428 p.
47. Langel RA, Hinze WJ. The magnetic field of the Earth's lithosphere. Berlin: Springer; 2011. 429 p.
48. Пресман АС. *Электромагнитное поле и жизнь*. Москва: Наука; 2003. 287 с.
49. Косов АА, Барабанов АА, Ярославцев НА. Роль электромагнитных полей и излучений в системе обеспечения безопасности человека. *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. 2010;1:79–85. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15120732_31465585.pdf.
50. Enemuoh FO, Ezennaya SO. A review of the effects of electromagnetic fields on the environment. *Health Physics*. 1998;74:494–522. URL: https://www.researchgate.net/publication/317175275_A_review_of_the_effects_of_electromagnetic_fields_on_the_environment.
51. Boeker E, Van Grondelle R. Environmental physics: Sustainable energy and climate change. Hoboken: John Wiley and Sons; 2011. 440 p.
52. Tomkiewicz M. Energy and sustainability, from the point of view of environmental physics. *MRS Energy and Sustainability-A Review Journal*. 2015;2(1):1–13. DOI: 10.1557/mre.2015.14.
53. Fomichev VT, Savchenko AV, Gubarevich GP. Technique of assessment of environmental damage caused by electroplating production facilities (by the example of chromium plating process lines). *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2021;1079(6):062049–062056. DOI:10.1088/1757-899X/1079/6/062049.
54. Chordia M, Nordelöf A, Ellingsen LA-W. Environmental life cycle implications of upscaling lithium-ion battery production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2021;26(10):1–16. DOI:10.1007/s11367-021-01976-0.
55. Petri A-K, Schmiedchen K, Stunder D. Biological effects of exposure to static electric fields in humans and vertebrates: A systematic review. *Environmental Health*. 2017;16(1):41–64. DOI 10.1186/s12940-017-0248-y.
56. Davis ML, Masten SJ. Principles of Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Education; 2013. 912 p.
57. Masters GM, Ela WR. Introduction to environmental engineering and science. London: Education Limited; 2014. 696 p.
58. Ахманов СА, Никитин СЮ. *Физическая оптика*. Москва: МГУ; 2004. 656 с.
59. Longcore T. Ecological light pollution. *Frontiers in ecology and the environment*. 2004;2(4):191–198. DOI:10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2.
60. Тимофеев ЮМ, Васильев АВ. *Теоретические основы атмосферной оптики*. Санкт-Петербург: Наука; 2003. 474 с.
61. Бухтояров ОИ, Несговорова НП, Савельев ВГ. *Методы экологического мониторинга качества среды жизни и оценки их экологической безопасности*. Курган: Издательство Курганского государственного университета; 2015. 239 с.

62. Wong MS, Zhu X, Abbas S. Optical remote sensing. In: *Urban informatics*. 2021. p. 315–344. DOI:10.1007/978-981-15-8983-6_20.
63. Бадрутдинов ОР, Тюменев РС. *Радиоактивность экосистем*. Казань: Казанский университет; 2017. 201 с.
64. Vox MA, Vox GP. *Physics of radiation and climate*. Paris: Taylor and Francis Group; 2017. 513 p.
65. Андрианов АА, Воропаев АИ, Коровин ЮА. *Ядерные технологии: история, состояние, перспективы*. Москва: НИЯУ МИФИ; 2012. 80 с.
66. Маскевич СА, Батян АН, Зиматкина ТИ. *Радиобиология – медико-экологические проблемы*. Минск: Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова; 2019. 306 с.
67. Ашихмина ТЯ. *Экологический мониторинг*. Москва: Академический проект; 2008. 416 с.
68. Ibrahim HS, Hamza Y, Mayhoub F. Effective radiation dose evaluation in nuclear medicine examination. *International Research Journal of Public and Environmental Health*. 2019;6(5):97–104. DOI:10.15739/irjpeh.19.012.
69. Beresford N, Shaw G, Moberg L. Radioactivity in terrestrial ecosystems. In: Smith J, Beresford NA. *Chernobyl: Catastrophe and consequences*. Berlin: Springer; 2005. 338 p.
70. Leeder MR, Pérez-Arlucea M. *Physical processes in Earth and environmental sciences*. New York: Wiley-Blackwell; 2006. 336 p.
71. Козачек АВ. Опыт и особенности проектирования содержания профессиональной подготовки инженеров-экологов в государствах англосаксонского типа. *Профессиональное образование в России и за рубежом*. 2011;2(4):52–61.
72. Козачек АВ. Содержание профессиональной инженерно-экологической подготовки в странах континентальной Европы. *Профессиональное образование в России и за рубежом*. 2012;1(5):60–66.
73. Boeker E, Grondelle RV, Blankert P. Environmental physics as a teaching concept. *European Journal of Physics*. 2003;24(5):59–67. DOI:10.1088/0143-0807/24/5/301.
74. Nestic L, Raos M. Ecophysics and education. *Facta universitatis. Series: Physics, Chemistry and Technology*. 2006;4(1):101–112. DOI:10.2298/FUPCT0601101N.
75. Boeker E, Van Grondelle R. *Environmental science: physical principles and applications*. Wiley: [publisher unknown]; 2001. 440 p.
76. Monteith JL, Unsworth MH. *Principles of environmental physics. Plants, animals, and the atmosphere*. Amsterdam: Elsevier Science; 2014. 422 p.
77. Rodrigues A, Sardinha R, Pita G. *Fundamental principles of environmental physics*. Berlin: Springer; 2021. 390 p.
78. Bolivar N, editor. *Environmental physics*. Burlington, Canada: Arcler Press; 2018. 293 p.
79. Brinkman AW. *Physics of the environment*. London: Imperial College Press; 2008. 213 p.
80. Dzelalija M. *Environmental physics*. Create Space. California: Independent Publishing Platform; 2014. 64 p.
81. Singh P, Wani TA. *Basic environmental physics*. New-Deli: Pragati Prakashan; 2016. 140 p.
82. Iribarne JV, Cho H-R. *Atmospheric physics*. New York: Springer Science and Business Media; 2012. 224 p.
83. Mak M. *Atmospheric Dynamics*. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. 486 p.
84. Ambaum MHP. *Thermal physics of the atmosphere*. Hoboken: John Wiley and Sons, Ltd; 2010. 240 p.
85. Stamnes K, Thomas GE, Stamnes JJ. *Radiative transfer in the atmosphere and ocean*. Cambridge: Cambridge University Press; 2017. 517 p.
86. Narain U. *Physics of the Sun and its atmosphere*. New York: World Scientific; 2008. 296 p.
87. Şen Z. *Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. London: Springer-Verlag; 2008. 276 p.
88. Lowrie W. *Fundamentals of geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007. 391 p.
89. Poirier J-P. *Introduction to the physics of the Earth's interior*. Paris: Institut de France; 2000. 326 p.
90. Wang PK. *Physics and dynamics of clouds and precipitation*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 467 p.
91. Curry JA, Webster PJ. *Thermodynamics of atmospheres and oceans*. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 1999. 492 p.
92. Shukla MK. *Soil physics: An introduction*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 466 p.
93. Bolivar N, editor. *Physics of energy sources*. Burlington, Canada: Aider Press; 2019. 293 p.
94. Taylor FW. *Elementary climate physics*. New York: Oxford University Press; 2005. 212 p.

References

1. Turchin AV, Batin MA. *Futurologiya. XXI vek: bessmertnye ili global'naya katastrofa?* [Futurology. XXI century: immortality or a global catastrophe?] Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2013. 263 p. Russian.
2. Danilov-Danil'yan VI, Reif IE. *Biosfera i tsivilizatsiya* [Biosphere and civilization]. Moscow: Entsiklopediya; 2016. 432 p. Russian.
3. Kovalenko K, Kovalenko N. Ecological problem of modernity as a global problem of humanity. *MATEC. Web of Conferences*. 2018;193:01033–01040. DOI:10.1051/mateconf/201819301033.
4. Chu S. The world's energy problem and what we can do about it. *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*. 2008;61(2):1001–1019. DOI:10.2307/40481324.
5. Elachi C, Van Zyl J. *Introduction to the physics and techniques of remote sensing*. Hoboken: John Wiley and Sons, Inc.; 2006. 584 p.
6. Rees WG. *Physical principles of remote sensing*. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 494 p.
7. Gendzwil DJ, Maybank J. Gravity variations and precipitation onset. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2011;6(5):1322–1324. DOI:10.1139/e69-134.
8. Marghany M, editor. *Environmental applications of remote sensing*. London: ExU4EvA; 2016. 405 p.
9. Moffatt HK, Shuckburgh E. *Environmental hazards: The fluid dynamics and geophysics of extreme events*. New Jersey: World Scientific; 2011. 333 p.
10. Klapp J, Medina A, Cros A. *Fluid dynamics in physics, engineering and environmental applications*. New York: Springer Heidelberg; London: Dordrecht; 2013. 533 p.
11. Ramachandran S. *Atmospheric aerosols: Characteristics and radiative effects*. Boca Raton: CRC Press; 2018. 295 p.
12. Tomasi C, Fuzzi S, Kokhanovsky A. *Atmospheric aerosols: Life cycles and effects on air quality and climate*. Hoboken: John Wiley and Sons; 2016. 700 p.
13. Loper DE. *Geophysical waves and flows. Theory and applications in the atmosphere, hydrosphere and geosphere*. Cambridge: Cambridge University Press; 2017. 520 p.

14. Barber JR, Warner KA, Theobald DM. Anthropogenic noise exposure in protected natural areas: estimating the scale of ecological consequences. *Landscape Ecology*. 2011;26:1281–1295. DOI 10.1007/s 10980-011-9646-7.
15. Templeton N, editor. Noise pollution and control. New York: Library Press; 2017. 297 p.
16. Gill SA, Job JR, Myers K. Toward a broader characterization of anthropogenic noise and its effects on wildlife. *Behavioral Ecology*. 2015;26(2):328–333. <https://DOI.org/10.1093/beheco/aru219>.
17. Dutilleul G. Anthropogenic sound and terrestrial ecosystems: a review of recent evidence. In: *Conference. 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem 2017 June 18–22 Zürich (Switzerland)*. 2017. p. 1–9. URL: <https://www.researchgate.net/publication/321376092>.
18. Salby ML. Physics of the atmosphere and climate. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 717 p.
19. Hughes P, Mason NJ. Introduction to environmental physics: Planet Earth, life and climate. Boca Raton: CRC Press; 2001. 490 p.
20. Schrijver CJ, Bagenal F, Sojka JJ. Heliophysics: Active stars, their astrospheres, and impacts on planetary environments. Cambridge: Cambridge University Press; 2016. 406 p.
21. Benestad RE. Solar activity and earth's climate. Berlin: Springer; 2006. 349 p.
22. Schrijver CJ, Siscoe GL. Heliophysics: Evolving solar activity and the climates of space and Earth. Cambridge: Cambridge University Press; 2010. 526 p.
23. Vallero DA. Environmental contaminants: Assessment and control. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2004. 801 p.
24. Pepper IL, Gerba CP, Brusseau ML. Environmental and pollution science. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2006. 552 p.
25. Ruijgrok GJJ, Van Paassen DM. Elements of aircraft pollution. Cambridge: Delft University Press; 2005. 407 p.
26. Saxena P, Naik V, editors. Air pollution: Sources, impacts and controls. Boca Raton: CAB International; 2019. 233 p.
27. Gurjar BR, Molina LT, Ojha CSP, editors. Air pollution: Health and environmental impacts. Boca Raton: CRC Press; 2010. 556 p.
28. Wolkoff P. Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International journal of hygiene and environmental health*. 2018;221(3):376–390. DOI:10.1016/j.ijheh.2018.01.015.
29. Jaupart C, Mareschal J-C. Heat generation and transport in the Earth. Cambridge: Cambridge University Press; 2010. 479 p.
30. Hillel D. Environmental Soil physics. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2003. 771 p.
31. Sivakumar MVK, Ndiang'ui N, editors. Climate and land degradation. Berlin: Springer; 2007. 628 p.
32. Teixeira WG, Ceddia MB, Ottoni MV. Application of soil physics in environmental analyses: Measuring, modelling and data integration. Berlin: Springer International Publishing; 2014. 508 p.
33. Iribarne JV, Godson WL. Atmospheric thermodynamics. New York: Springer Science and Business Media; 2012. 260 p.
34. Charles E Baukal Jr. Industrial combustion pollution and control. Boca Raton: CRC Press; 2003. 916 p.
35. Avdeev VV, Avtonomov AB, Agababov BC. *Ekologiya energetiki* [Energy ecology]. Moscow: Izdatelstvo MEI; 2003. 716 p. Russian.
36. Tan Z. Air pollution and greenhouse gases. From basic concepts to engineering applications for air emission control. Berlin: Springer; 2014. 481 p.
37. Jacobson MZ. Air pollution and global warming. History, science, and solutions. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 375 p.
38. Dincer I, Colpan CO, Kadioglu F, editors. Causes, impacts and solutions to global warming. New York: Springer; 2013. 1171 p.
39. Jacobson MZ. Air pollution and global warming: History, science, and solutions. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 375 p.
40. Keith DW, Holmes G, Angelo DSt. Process for Capturing CO2 from the Atmosphere. *Joule*. 2018;2:1573–1594. DOI:10.1016/j.joule.2018.09.017.
41. Sayed ET, Awotwe TW, Elsaid K. A critical review on environmental impacts of renewable energy systems and mitigation strategies: Wind, hydro, biomass and geothermal. *Science of the total environment*. 2020;766(5):1445050–1445068. DOI:10.1016/j.scitotenv.
42. Guidi G, Gugliemetti F, Violante AC. Environmental impact of nuclear energy and comparison with the alternatives. In: *Conference: ASME-ATI-UIT 2010 Conference on thermal and environmental issues in energy systems*. Sorrento (Italy). 2010. p. 1–7. DOI:10.13140/RG.2.1.1442.2482.
43. Favretti M. Remarks on the maximum entropy principle with application to the maximum entropy theory of ecology. *Entropy*. 2018;20(11):e20010011 (13 p.). DOI: 10.3390/e20010011.
44. Shredinger E. *Chto takoye zhizn' s tochki zreniya fiziki?* [What is life from the point of view of physics?] Moscow: RIMIS; 2009. 176 p. Russian.
45. Harte J. Maximum entropy and ecology. A theory of abundance, distribution, and energetics. New York: Oxford University Press Inc.; 2011. 257 p.
46. Lühr H, Wicht J, Gilder SA, editors. Magnetic fields in the Solar system. Planets, Moons and Solar wind interactions. New York: Springer International Publishing; 2018. 428 p.
47. Langel RA, Hinze WJ. The magnetic field of the Earth's lithosphere. Berlin: Springer; 2011. 429 p.
48. Presman AS. *Elektromagnitnoye pole i zhizn* [Electromagnetic field and life]. Moscow: Nauka; 2003. 287 p. Russian.
49. Kosov AA, Barabanov AA, Yaroslavtsev NA. The role of electromagnetic fields and radiation in human security. *Akademicheskii vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2010;1:79–85. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15120732_31465585.pdf. Russian.
50. Enemuoh FO, Ezennaya SO. A review of the effects of electromagnetic fields on the environment. *Health Physics*. 1998;74:494–522. URL: https://www.researchgate.net/publication/317175275_A_review_of_the_effects_of_electromagnetic_fields_on_the_environment.
51. Boeker E, Van Grondelle R. Environmental physics: Sustainable energy and climate change. Hoboken: John Wiley and Sons; 2011. 440 p.
52. Tomkiewicz M. Energy and sustainability, from the point of view of environmental physics. *MRS Energy and Sustainability-A Review Journal*. 2015;2(1):1–13. DOI: 10.1557/mre.2015.14.
53. Fomichev VT, Savchenko AV, Gubarevich GP. Technique of assessment of environmental damage caused by electroplating production facilities (by the example of chromium plating process lines). *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2021;1079(6):062049–062056. DOI:10.1088/1757-899X/1079/6/062049.
54. Chordia M, Nordlöf A, Ellingsen LA-W. Environmental life cycle implications of upscaling lithium-ion battery production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2021;26(10):1–16. DOI:10.1007/s11367-021-01976-0.

55. Petri A-K, Schmiedchen K, Stunder D. Biological effects of exposure to static electric fields in humans and vertebrates: A systematic review. *Environmental Health*. 2017;16(1):41–64. DOI 10.1186/s12940-017-0248-y.
56. Davis ML, Masten SJ. Principles of Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Education; 2013. 912 p.
57. Masters GM, Ela WR. Introduction to environmental engineering and science. London: Education Limited; 2014. 696 p.
58. Akhmanov SA, Nikitin SYu. *Fizicheskaya optika* [Physical optics]. Moscow: MGU; 2004. 656 p. Russian.
59. Longcore T. Ecological light pollution. *Frontiers in ecology and the environment*. 2004;2(4):191–198. DOI:10.1890/1540-9295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2.
60. Timofeev YuM, Vasil'ev AV. *Teoreticheskiye osnovy atmosferno optiki* [Theoretical foundations of atmospheric optics]. Saint-Petersburg: Nauka; 2003. 474 p. Russian.
61. Bukhtoyarov OI, Nesgovorova NP, Savel'ev VG. *Metody ekologicheskogo monitoringa kachestva sred zhizni i otsenki ikh ekologicheskoy bezopasnosti* [Methods for environmental monitoring of the quality of living environments and assessment of their environmental safety]. Kurgan: Izdatelstvo Kurganskogo gosudarstvennogo universiteta; 2015. 239 p. Russian.
62. Wong MS, Zhu X, Abbas S. Optical remote sensing. In: *Urban informatics*. 2021. p. 315–344. DOI:10.1007/978-981-15-8983-6_20.
63. Badrutdinov OR, Tyumenev RS. *Radioaktivnost' ekosistem* [Radioactivity of ecosystems]. Kazan: Kazanskiy universitet; 2017. 201 p. Russian.
64. Box MA, Box GP. Physics of radiation and climate. Paris: Taylor and Francis Group; 2017. 513 p.
65. Andrianov AA, Voropaev AI, Korovin YuA. *Yadernyye tekhnologii: istoriya, sostoyaniye, perspektivy* [Nuclear technologies: history, state, prospects]. Moscow: NIYaU MIFI; 2012. 80 p. Russian.
66. Maskevich SA, Batyan AN, Zimatkina TI. *Radiobiologiya – mediko-ekologicheskiye problemy* [Radiobiology – Medical and Environmental Problems]. Minsk: Mezhdunarodnyi gosudarstvennyi ekologicheskii universitet imeni A. D. Sakharova; 2019. 306 p. Russian.
67. Ashikhmina TYa. *Ekologicheskii monitoring* [Environmental monitoring]. Moscow: Akademicheskii proekt; 2008. 416 p. Russian.
68. Ibrahim HS, Hamza Y, Mayhoub F. Effective radiation dose evaluation in nuclear medicine examination. *International Research Journal of Public and Environmental Health*. 2019;6(5):97–104. DOI:10.15739/irjpeh.19.012.
69. Beresford N, Shaw G, Moberg L. Radioactivity in terrestrial ecosystems. In: Smith J, Beresford NA. *Chernobyl: Catastrophe and consequences*. Berlin: Springer; 2005. 338 p.
70. Leeder MR, Pérez-Arlucea M. Physical processes in Earth and environmental sciences. New York: Wiley-Blackwell; 2006. 336 p.
71. Kozachek AV. Experience and design features of the content of professional training of environmental engineers in the Anglo-Saxon-type states. *Professional'noe obrazovanie v Rossii i za rubezhom*. 2011;2(4):52–61. Russian.
72. Kozachek AV. The content of professional engineering and environmental training in continental Europe. *Professional'noe obrazovanie v Rossii i za rubezhom*. 2012;1(5):60–66. Russian.
73. Boeker E, Grondelle RV, Blankert P. Environmental physics as a teaching concept. *European Journal of Physics*. 2003;24(5):59–67. DOI:10.1088/0143-0807/24/5/301.
74. Nesc L, Raos M. Ecophysics and education. *Facta universitatis. Series: Physics, Chemistry and Technology*. 2006;4(1):101–112. DOI:10.2298/FUPCT0601101N.
75. Boeker E, Van Grondelle R. Environmental science: physical principles and applications. Wiley: [publisher unknown]; 2001. 440 p.
76. Monteith JL, Unsworth MH. Principles of environmental physics. Plants, animals, and the atmosphere. Amsterdam: Elsevier Science; 2014. 422 p.
77. Rodrigues A, Sardinha R, Pita G. Fundamental principles of environmental physics. Berlin: Springer; 2021. 390 p.
78. Bolivar N, editor. Environmental physics. Burlington, Canada: Arcler Press; 2018. 293 p.
79. Brinkman AW. Physics of the environment. London: Imperial College Press; 2008. 213 p.
80. Dzelalija M. Environmental physics. Create Space. California: Independent Publishing Platform; 2014. 64 p.
81. Singh P, Wani TA. Basic environmental physics. New-Deli: Pragati Prakashan; 2016. 140 p.
82. Iribarne JV, Cho H-R. Atmospheric physics. New York: Springer Science and Business Media; 2012. 224 p.
83. Mak M. Atmospheric Dynamics. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. 486 p.
84. Ambaum MHP. Thermal physics of the atmosphere. Hoboken: John Wiley and Sons, Ltd; 2010. 240 p.
85. Stamnes K, Thomas GE, Stamnes JJ. Radiative transfer in the atmosphere and ocean. Cambridge: Cambridge University Press; 2017. 517 p.
86. Narain U. Physics of the Sun and its atmosphere. New York: World Scientific; 2008. 296 p.
87. Şen Z. Solar energy fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy. London: Springer-Verlag; 2008. 276 p.
88. Lowrie W. Fundamentals of geophysics Cambridge: Cambridge University Press; 2007. 391 p.
89. Poirier J-P. Introduction to the physics of the Earth's interior. Paris: Institut de France; 2000. 326 p.
90. Wang PK. Physics and dynamics of clouds and precipitation. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 467 p.
91. Curry JA, Webster PJ. Thermodynamics of atmospheres and oceans. Amsterdam: Elsevier Academic Press; 1999. 492 p.
92. Shukla MK. Soil physics: An introduction. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 466 p.
93. Bolivar N, editor. Physics of energy sources. Burlington, Canada: Aider Press; 2019. 293 p.
94. Taylor FW. Elementary climate physics. New York: Oxford University Press; 2005. 212 p.

Статья поступила в редакцию 15.07.2021.
Received by editorial board 15.07.2021.