

И. Н. Семененя, В. А. Переверзев

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ: НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»

В статье представлен краткий обзор основных сведений по негативному влиянию на окружающую среду и здоровье человека используемых в настоящее время в мире невозобновляемых природных энергоресурсов – нефти, угля, газа, горючих сланцев, торфа, урана. Дается краткая общая характеристика соответствующих источников промышленной энергетики, мировых запасов указанных энергоресурсов, объемов их добычи, распределения по разным странам. Отмечается необходимость изменения структуры мирового энергетического баланса и поиска принципиально новых подходов к разработке экологически безопасных и высокоэффективных источников энергии для полного обеспечения всех нужд человечества.

Ключевые слова: *мировая энергетика, невозобновляемые источники энергии, нефть, уголь, газ, горючие сланцы, торф, уран, экологические последствия, структура мирового энергетического баланса.*

I. N. Semeneniya, V. A. Pereverzev

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF GLOBAL ENERGY: NON-RENEWABLE ENERGY SOURCES

The article provides a brief overview of the main information on the negative impact on the environment and human health of non-renewable natural energy resources currently used in the world – oil, coal, gas, oil shale, peat, uranium. A brief general description of the relevant sources of industrial energy, the world reserves of these energy resources, their production volumes, and distribution across different countries is given. It is noted that there is a need to change the structure of the global energy balance and search for fundamentally new approaches to the development of environmentally safe and highly efficient energy sources to fully meet all the needs of mankind.

Key words: *world energy, non-renewable energy sources, oil, coal, gas, oil shale, peat, uranium, environmental consequences, structure of the world energy balance.*

Ни один процесс на Земле, как и во Вселенной в целом, не осуществляется без затраты энергии. Энергия – один из важнейших факторов развития экономики и уровня жизни людей. Понятно, что потребление энергии в перспективе будет только возрастать в связи с продолжающимся увеличением численности населения планеты (на 1 млн каждые 3,5 суток или свыше 100 миллионов в год), разработкой и внедрением более или менее энергоёмких новых технологий во всех сферах жизни общества, несмотря на предпринимаемые меры по энергосбережению и энергоэффективности.

Население Земли менее чем за 100 лет увеличилось в 4 раза – с 2 млрд в 1927 г. до 8 млрд в 2022 г. (15 ноября 2022 г. – расчётный день, определённый ООН, достижения численности населения Земли в 8 млрд). В то же время, потребление энергии демонстрирует колоссальный взлет – только с 1990 по 2000 г. потребление энергии в расчете на 1 человека увеличилось в 5 раз. В то же время, по мнению ряда исследователей, несмотря на постоянное увеличение энергопотребления в мире, в настоящее время идут процессы замедления темпов роста производства и потребления первичных энергоресурсов и электроэнергии

в связи со снижением темпов роста численности мирового населения и объемов ВВП. Кроме того, динамика мирового энергопотребления характеризуется периодами подъемов и спадов, связанными с периодами экономических кризисов. Согласно Международному энергетическому прогнозу – 2021, к 2050 г. глобальное энергопотребление в мире увеличится почти на 50 % по сравнению с 2020 г. Примерно 70 % мировой энергии потребляют промышленно развитые страны, в которых проживает около 30 % населения Земли [1, 3, 6, 9]. Значительный рост потребления энергии во всем мире на основе используемых источников (невозобновляемых и, в существенно меньшей степени, возобновляемых) уже давно породил конфликт с окружающей средой и здоровьем населения, который продолжает только углубляться.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), свыше 13 миллионов смертей в мире ежегодно происходят по предотвратимым экологическим причинам. При этом в мире ежегодно умирает от разных причин более 60 млн человек (в 2023 – 63,1 млн).

4 апреля 2022 г. ВОЗ в пресс-релизе проинформировала о том, что 99 % людей планеты дышат воздухом, который загрязнен сверх установленных нормативов и несет угрозу здоровью. Основной источник этих загрязнителей – сжигание ископаемого топлива [12]. По данным Международного энергетического агентства (МЭА) за 2021 г. 37 % всей мировой электроэнергии выработано из природного угля – самого экологически вредного природного энергоресурса.

Еще в 2015 г. Всемирная ассамблея здравоохранения приняла резолюцию, согласно которой загрязнение воздуха является фактором риска неинфекционных заболеваний, таких как хроническая обструктивная болезнь легких, бронхиальная астма, рак легких и других органов, ишемическая болезнь сердца, инсульт, а также экономические потери, которые они вызывают. Загрязненный атмосферный воздух увеличивает также риск развития сахарного диабета, неврологических расстройств, оказывает неблагоприятное влияние на репродуктивную функцию беременных женщин, приводя к преждевременным родам, более низкой массе тела новорожденных и др.

В своем докладе директор Департамента по проблемам изменения климата, здоровья

и окружающей среды ВОЗ Мария Нейра отметила: «После того, как мы пережили пандемию, недопустимо до сих пор наблюдать из-за загрязнения воздуха 7 миллионов случаев предотвратимой смерти и бесчисленное количество предотвратимых утраченных лет хорошего здоровья...». По мнению Марии Нейра, необходимо значительно активизировать деятельность по предотвращению загрязнения атмосферного воздуха промышленными предприятиями с увеличением объемов финансирования этих мероприятий и существенным повышением их эффективности [12].

По оценкам независимой исследовательской организации «Centre for Research on Energy and Clean Air» (Центр исследований энергии и чистого воздуха – ЦИЭЧВ) экономический ущерб от загрязнения воздуха при сжигании углеводородного топлива в 2018 г. оценен в 2,9 трлн долларов США или 3,3 % мирового ВВП, причем в России – 68 млрд \$, США – 600 млрд \$, Китае – 900 млрд \$.

Приведем несколько примеров по отдельным странам (данные ВОЗ, ЦИЭЧВ и британского аналитического центра EMBER).

Ежегодные экономические затраты Турции (население ~ 85 млн) на преодоление медицинских последствий загрязнения окружающей среды от угольной энергетики обходятся в 10,9 млрд евро в год.

В 2017 г. на долю загрязнения воздуха в Пакистане (население ~ 235 млн) приходилось более 9 % смертей (128 000 человек). При этом ожидаемая продолжительность жизни в стране сократилась примерно на 2 года и 8 месяцев.

Одна только угольная электростанция Чандрапур в Индии (население ~ 1,4 млрд) в 2020 г. произвела выброс в окружающую среду 4724 т твердых частиц, 103 010 т двуокиси серы, 28 417 т двуокиси азота и 1322 кг ртути. Расчеты показали, что если бы на этой электростанции была установлена система десульфурации дымовых газов, то только это позволило бы в 2020 г. уменьшить временную нетрудоспособность по болезням на 8 млн дней, сохранить 1300 жизней и предотвратить 1800 преждевременных родов.

Выбросы украинских угольных электростанций привели в 2019 г. к смерти 2690 человек в Украине (население тогда составляло ~ 44 млн) и 1315 человек в Европейском союзе (ЕС; на-

селение ~ 450 млн). Среди стран ЕС наибольший вред от выбросов украинских угольных электростанций испытывают Румыния (население ~ 19 млн) и Польша (население ~ 38 млн). В 2019 г. эти страны потеряли 534 и 325 жителей соответственно. Из-за загрязнения атмосферного воздуха в Украине ежегодно теряется 2538 лет жизни людей [8].

Общая характеристика источников энергии

В природе существуют невозобновляемые и возобновляемые или альтернативные источники энергии. К невозобновляемым источникам относятся нефть, уголь, газ, горючие сланцы, торф, уран – при использовании они теряются практически безвозвратно.

Возобновляемые источники энергии (солнце, ветер, вода, биотопливо и др.) значительно более экологичны, чем невозобновляемые. Однако и они не лишены в полной мере экологических недостатков.

Около 90 % используемых в настоящее время в мире энергоресурсов составляют невозобновляемые источники, благодаря их высокому энергетическому потенциалу и относительной доступности. Однако создание инфраструктуры для их добычи и транспортировки, не говоря уже об экологических последствиях производства электрической и тепловой энергии, весьма негативно сказывается на ландшафтах, растительном и животном мире, здоровье человека [2, 3, 5].

Невозобновляемые источники ископаемого топлива

Нефтяная промышленность. Нефть является маслянистой горючей жидкостью, на 80–90 % состоящей из сложной смеси углеводородов различной молекулярной массы и некоторых других химических веществ (соединения серы, азота, смолисто-асфальтеновые вещества, минеральные соли и соли органических кислот, металлоорганические соединения, механические примеси, вода и др.). Всего в состав нефти входит более тысячи различных веществ, включая 50 химических элементов. Нефть широко используется в качестве топлива и сырья для химической промышленности. Она оказывает огромное влияние на мировую экономику и международную политику, являясь, в частности, важнейшим инструмен-

том геополитики. В настоящее время нефть – это основной мировой энергоресурс, продукты переработки которого применяются во всех отраслях промышленности и во всех сферах жизни человека. Более 80 % всей добываемой нефти используется для выработки энергии. Нефть используют для получения многих ценных продуктов, используемых в повседневной жизни. В настоящее время их насчитывается свыше 6 тысяч. Это различные виды топлива (бензин, керосин, солярка, топочный мазут и др.), средства бытовой химии (моющие и чистящие средства, лаки и краски, растворители, клеи, удобрения для растений, дезодоранты, антиперспиранты, зубные пасты и др.), технические масла, растворители, вазелин, парафиновые свечи и карандаши, полиэтилен, пластик и товары из него (пакеты, упаковки, компьютеры, телевизоры и др.), синтетическая одежда и другие ткани, синтетическая резина, мебель, панели солнечных батарей, мобильные телефоны, парфюмерные изделия (одеколон, туалетная вода, духи), косметика (губная помада, тени для век, краска для волос), контактные линзы, некоторые лекарства, например, ацетилсалициловая кислота, некоторые антибиотики, сульфаниламидные и противотуберкулезные средства, противоаллергические и успокаивающие средства и др., пищевые добавки, некоторые продукты питания (сосиски, колбасы и др.) и т. д. Понятно, что часть указанных продуктов оказывает определенное отрицательное воздействие на здоровье человека [2, 19].

Доказанные запасы нефти в мире оцениваются более чем в 1,7 трлн баррелей или почти 250 млрд тонн, хотя называются и более высокие цифры – 3 трлн баррелей или более 400 млрд тонн. Первое место по разведанным запасам нефти занимает Венесуэлла – 303,8 млрд баррелей, затем следует Саудовская Аравия – 297,6 млрд, Канада – 169,7 млрд, Иран – 155,6 млрд, Ирак – 147,2 млрд, Россия – 107,2 млрд. У США нефти значительно меньше – 61 млрд баррелей. По разным оценкам, доказанного мирового запаса нефти хватит человечеству на 30–100 лет.

Мировая добыча нефти в настоящее время составляет свыше 80 млн баррелей в день. Несмотря на сравнительно небольшие запасы нефти в США, эта страна стала крупнейшим мировым производителем нефти с 2017 г.

В период с 2014 по 2019 гг. США демонстрировали рост нефтедобычи более чем на 10 % ежегодно. По итогам 2020 пандемического года, США также заняли первое место в мире по объемам добычи нефти – 15,8 %. На втором месте – Россия (13,5 %), третьем – Саудовская Аравия (12,1 %), четвертом – Канада (5,7 %), пятом – Ирак (5,6 %), шестом – Китай (4,8 %) и т. д.

Добыча, транспортировка, переработка и хранение нефти и нефтепродуктов оказывает крайне неблагоприятное влияние на окружающую среду и здоровье человека, как и всех живых существ, с учетом происходящих аварий в нефтяном топливно-энергетическом секторе.

Так, по данным Министерства энергетики Российской Федерации в 2019 г. на предприятиях топливно-энергетического комплекса произошло более 17 тысяч аварий с разливами нефти (фактически одна авария – каждые полчаса). Из них 10,5 тысяч случаев – на нефтепроводах (в 90 % случаев – из-за коррозии труб) [16]. По словам директора по программам Российского отделения Greenpeace Ивана Блокова: «Каждый год в России в окружающую среду разливается несколько миллионов тонн нефти».

Все аварии с разливами нефти наносят непоправимый ущерб природе и здоровью людей. Крупные утечки нефти вызывают локальные экологические катастрофы с многолетними последствиями. По некоторым оценкам, в окружающую среду (на сушу и в акватории) ежегодно в мире попадает свыше 50 млн тонн нефти и нефтепродуктов. Немалая часть из них приходится на аварии на нефтяных танкерах. Приводятся данные, что более 3500 нефтяных танкеров непрерывно, днем и ночью, перевозят нефть и нефтепродукты.

Аэрофотосъемкой со спутников зафиксировано, что уже почти 30 % поверхности мирового океана покрыто нефтяной пленкой. Особенно загрязнены воды Средиземного моря, Атлантического океана и их побережья. Образующаяся при растекании нефти и нефтепродуктов тонкая нефтяная пленка препятствует воздухообмену, оказывая негативное влияние на растительный и животный мир. При толщине нефтяной пленки более 0,1 мм замедляются процессы как проникновения атмосферного кислорода в воду, так и удаления из воды углекислоты. У морских животных и птиц, на тела

которых попала такая пленка, нарушается теплообмен, животные могут ослепнуть при попадании нефти и нефтепродуктов в глаза и погибнуть. Установлено, что одна тонна нефти загрязняет 12 км² водной поверхности.

От нефтяных разливов в акваториях серьезно страдает и экономика прибрежных городов и населенных пунктов. Ущерб несут рыбаки, рестораны, отели и другие субъекты, связанные с курортным бизнесом. Убытки терпят прибрежные предприятия, потребляющие большое количество воды. При разливах нефти в пресных водоёмах последствия катастрофы ощущает сельское хозяйство, коммунальные службы, население городов и т. д.

Кроме разливов нефти и нефтепродуктов в окружающую среду, большой урон экологии, экономике и здоровью человека наносят пожары на предприятиях нефтехимической промышленности, горение разлившихся в морях, океанах и на суше нефти и нефтепродуктов. Так, при горении нефти и нефтепродуктов в атмосферу выбрасывается большое количество оксидов углерода, азота и серы, сероводорода, цианистого водорода, различных углеводородов как продуктов неполного сгорания (формальдегид, полициклические ароматические углеводороды, включая канцероген 3,4-бензпирен, органические кислоты, сажа и др.), соединений свинца и т. д.

На масштабы загрязнения влияют также неаварийные выбросы от нефтехранилищ, нефтебаз, автозаправочных и нефтенасосных станций, факельных устройств, автомобильного и железнодорожного транспорта, судоходной и авиакосмической техники и т. д.

Одна из весьма авторитетных газет США «Лос-Анджелес Таймс» в свое время заявила: «Ставка на нефть приближает экологическую смерть». Таким образом, нефть, как природный энергоресурс, в конечном итоге, оказывает весьма неблагоприятное влияние на окружающую среду и здоровье населения планеты, не говоря уже о животном и растительном мире, вызывая различные заболевания, включая онкологические, и снижая продолжительность и качество жизни [2, 5, 9, 19].

Угольная энергетика. Мировые запасы угля разделяют на общие геологические и извлекаемые. Первые – это полностью или частично разведанное его количество (до глубины 1,8 км), вторые – запасы, которые подлежат

промышленной разработке. Общие геологические запасы составляют по разным оценкам от 12 до 23 трлн тонн (чаще всего упоминается 14 трлн тонн), извлекаемые ~ 1 трлн тонн. 85 % угля в мире приходится на каменный и 15 % – на бурый. Даже извлекаемых запасов угля в мире может хватить еще на 300–500 лет.

Основная часть извлекаемых запасов угля (свыше 70 %) сосредоточена в США (26,62 %), России (17,61 %), Китае (12,84 %), Австралии (8,57 %) и Индии (6,8 %).

Уголь – один из ключевых видов топлива для производства энергии в таких быстро развивающихся странах как Китай и Индия. Использование угля особенно значительно (47 %) в энергобалансе быстрорастущих стран Азиатско-Тихоокеанского региона, на долю которых приходится 44 % потребляемой энергии в мире. По данным 2021 г. уголь также формирует весомую долю в выработке электроэнергии в таких регионах, как Африка (22 %), СНГ (14 %) и ЕС (13 %).

Несмотря на то, что уголь остается на сегодняшний день вторым по важности видом топлива для производства энергии в мире, его доля неуклонно снижается с 2014 г. в связи с колоссальным загрязнением окружающей среды и серьезными медицинскими последствиями от добычи угля и работы угольных электростанций. По оценкам МЭА, мировое потребление угля в 2020 г. уменьшилось очень значительно – на 7 %. На это повлияло также снижение потребления электроэнергии в мире из-за ограничений, связанных с пандемией COVID-19.

Угольная энергетика наносит самый большой ущерб окружающей среде и здоровью человека по сравнению с другими источниками энергии. Угольная электростанция – самая грязная и экологически опасная [7, 10, 18, 20].

При сжигании угля в окружающую среду выбрасывается значительное количество вредных веществ – пыли, золы, сажи, оксидов серы (99 % составляет сернистый ангидрид – SO_2),



Угольные электростанции

оксидов азота, угарного и углекислого газа (CO и CO_2), озона, токсических элементов (свинец, ртуть, мышьяк, селен, кремний, алюминий, германий, ванадий, марганец, фтор, хлор и др.), органических канцерогенов (полициклические ароматические углеводороды, в частности, 3,4-бензпирен, и др.), мутагенных и тератогенных веществ, радионуклидов и др. Атмосферные выбросы от угольных станций стали причиной так называемых кислотных дождей, которые губят растительность, почву, водоёмы и здоровье людей. Так, к примеру, одна тепловая электростанция (ТЭС) мощностью 1000 МВт, работающая на угле с содержанием серы около 3,5 %, несмотря на применение средств очистки, выбрасывает в год в атмосферу 140 тыс. тонн сернистого ангидрида, из которого образуется около 280 тыс. тонн серной кислоты. Ежегодный объем золошлаковых отходов ТЭС в СНГ в настоящее время превышает 120 млн тонн. С поверхностей золоотвалов ветер образует пыльные бури.

При сжигании угля происходит и небольшое радиоактивное загрязнение окружающей среды, т. к. в нем содержатся радионуклиды (уран, торий, радий, полоний, свинец-210, калий-40 и др.). Подсчитано, что индивидуальные дозы облучения населения в районе ТЭЦ превышают дозы вблизи АЭС в 5–10 раз, хотя они и ничтожно малы, чтобы вызвать какие-нибудь значимые нарушения в состоянии здоровья.

Мировой выброс урана и тория в результате сжигания угля составляет около 40 000 тонн ежегодно, а в России ТЭЦ на угле выбрасывают радионуклиды в количестве, превышающем 1000 тонн в год по урану. Установлено, что выбросы урана с угольной золой от ТЭЦ-4 г. Новосибирска в 7,5 раз превышают выбросы урана от Новосибирского завода химконцентратов, который изготавливает тепловыделяющие элементы для ядерных реакторов.

Мы здесь даже не затрагиваем вопрос об огромных количествах используемого для сжигания угля кислорода и выбросах основного парникового газа – CO_2 . А ведь на сжигание 1 кг угля уходит 2 кг атмосферного кислорода.

Газовая энергетика. Газовая энергетика хорошо развита во всем мире. Этому способствуют большие запасы природного газа, невысокая стоимость его транспортировки, зна-

чительно более высокая экологическая чистота, чем у нефти или угля.

Подтвержденные запасы природного газа в мире оцениваются почти в 200 трлн кубометров. Наибольшими запасами обладают Россия – 38 трлн кубометров, Иран – 32 трлн, Катар – 24,7 трлн, Туркменистан – 19,5 трлн и США – 12,9 трлн. Наименьшие запасы природного газа приходятся на Европу – 3,4 трлн кубометров.

По итогам 2020 г. первое место в мире по объемам добычи природного газа заняли США – 960 млрд кубометров, второе – Россия (705 млрд), третье – Иран (234 млрд), четвертое – Китай (195 млрд), пятое – Канада (172 млрд) и шестое – Катар (167 млрд).

При сгорании природного газа образуются, в основном, лишь единичные токсические вещества – оксиды азота (NO , NO_2) и оксиды углерода (CO , CO_2). Некоторые природные газы, однако, содержат в своем составе сероводород. Так, например, природные газы Оренбургского месторождения содержат 4–6 % сероводорода, астраханского – 25 %. В Канаде эксплуатируются газовые месторождения с содержанием сероводорода до 50 %. Поэтому при их добыче и переработке могут выделяться в атмосферу значительные количества сероводорода и сопутствующих ему токсичных серосодержащих и других соединений [25, 27].

Добыча природного газа и прокладка тысячекилометровых трубопроводов, особенно в северных районах России, где сосредоточены месторождения газа, наносит ущерб тайге, тундре, оленеводству и др. Утечка природного газа из газопроводов (в Западной Сибири, например, ежегодно происходят тысячи аварий трубопроводов природного газа) может вызвать глобальное накопление в атмосфере парникового газа метана. Норма его утечки установлена в 2 %, а фактическая утечка составляет 6 %. Это значит, что при современном уровне добычи газа в России эмиссия метана в атмосферу составляет ежегодно не менее 30 млрд кубометров [2, 9, 18].

Атомная энергетика. В настоящее время в 31 стране мира эксплуатируются 442 ядерных реактора: в США – 95, во Франции – 56, в Китае – 49, в России – 38 и т. д. Еще 54 ядерных реактора находятся в стадии строительства. Более 200 энергоблоков закрыто. В настоящее время удельный вес атомной энер-

гетики в структуре мирового энергетического баланса составляет 4,6 %.

В основе принципа работы АЭС лежит протекание в реакторе управляемой цепной реакции деления ядер урана-235 с выделением гигантского количества тепловой энергии, нагревающей воду. Образующийся водяной пар подается на турбину, вращающую ротор электрогенератора, который и вырабатывает электрическую энергию. Из отработанного пара в конденсаторе снова образуется вода и подается обратно к источнику тепла.

Для работы АЭС необходим природный уран. В качестве ядерного топлива используется обогащенный природный уран в виде таблеток размером в несколько сантиметров, содержащих UO_2 или другие соединения с более высоким содержанием урана-235 (природное содержание – 0,72 %, после обогащения – 2–5 %).

Мировые запасы природного урана оцениваются в 6,1 млн тонн, из которых больше всего приходится на Австралию – 28 %. Затем следует Казахстан (15 %), Канада (9 %), Россия (8 %). США обладает запасами природного урана в объеме 0,78 %.

По данным Всемирной ядерной ассоциации в 2020 г. было добыто природного урана в количестве 47 731 т, что на 12,8 % меньше показателя 2019 года. Сказалось негативное влияние пандемии COVID-19. Первое место по итогам 2020 г. традиционно с большим отрывом занял Казахстан – 19 477 т или 40,8 %. На втором месте Австралия – 6203 т (13 %), третьем – Намибия (5413 т или 11,3 %), четвертом – Канада (3885 т или 8,1 %). Россия заняла седьмое место, добыв 2846 т (7 %), США – пятнадцатое место (6 т или 0,013 %). Узбекистан, к примеру, оказался на пятом месте (3 500 т или 7,3 %), однако эта страна не использует уран, и вся его добыча в полном объеме идет на экспорт, в основном, в Японию и США.

К достоинствам АЭС можно отнести небольшой объем используемого топлива и минимальные расходы на его транспортировку (для АЭС мощностью 1 ГВт необходимо около 20 т обогащенного урана в год – достаточно одного вагона для перевозки; одна топливная таблетка из диоксида урана массой 4,5 г выделяет энергию, эквивалентную сжиганию 882 кг дров, 550 кг угля, 500 кубометров природного газа или 500 кг нефти; Троицкая ГРЭС мощностью 2000 МВт, к примеру, сжигает

за сутки два железнодорожных состава угля, относительная экологическая чистота (угольная электростанция дает даже больший выброс радиоактивных веществ, чем АЭС; ТЭС мощностью 1000 МВт потребляет 8 миллионов т кислорода в год для окисления топлива с выделением углекислого газа, АЭС же не потребляют кислорода), относительная дешевизна производства электроэнергии (в среднем, не дороже, чем на угольных и газовых ТЭС; стоимость возобновляемых источников энергии значительно выше) [15, 18, 20].

Постоянно ведутся работы, нацеленные на повышение безопасности АЭС, увеличение их эффективности с ростом КПД, уменьшение объема образующихся ядерных отходов и газоаэрозольных выбросов.

К основным недостаткам АЭС можно отнести риски возникновения радиационных аварий с негативными последствиями для здоровья населения и окружающей среды, нерешенные проблемы захоронения отходов ядерного топлива, которые также представляют опасность для природы и человека, и очень длительный период вывода АЭС из эксплуатации, составляющий не менее всего срока эксплуатации АЭС, а именно – 30–60 лет, с большой стоимостью вывода – до 20 % от стоимости строительства АЭС.

К негативным проявлениям работы АЭС относятся и газоаэрозольные выбросы. Основные их компоненты – радиоактивные инертные газы, аэрозоли радиоактивных веществ и продуктов коррозии. Из уранового топлива образуются около 300 различных радионуклидов, из которых более 30 могут попасть в атмосферу. Среди них – тритий, углерод-14, азот-16, аргон-41, криптон-87, йод-129, йод-131, йод-133, ксенон-133, ксенон-138, цезий-137 и др. Они проходят сложную систему очистки, необходимую для снижения их активности, а затем выбрасываются в атмосферу через вентиляционную трубу. Большая часть радиоактивности газоаэрозольных выбросов генерируется короткоживущими радионуклидами, которые без ущерба для окружающей среды распадаются за несколько часов или дней. От действия радиации при нормальной работе АЭС люди не болеют и не умирают, т. к. те дозы облучения, которые они получают, ничтожно малы и составляют не больше 0,1 % от естественного радиационного фона [15, 18, 20].



Белорусская АЭС



Самая мощная в мире АЭС Касивадзаки-Карива (Япония)



Французская АЭС Каттеном

Одна из наиболее серьезных опасностей, которую таят в себе АЭС, – это риск возникновения радиационных аварий. В открытом доступе можно найти только 7 аварий на АЭС. Всего же значимых радиационных инцидентов в мире насчитывается около 2500, вклю-

чая испытания ядерного оружия (около 2420), аварии на экспериментальных ядерных энергоустановках, радиохимических заводах, атомных подводных лодках, космических спутниках с ядерными реакторами на борту, при взрывах хранилищ с радиоактивными отходами, авиа-

катастрофах с бомбардировщиками, несшими на борту термоядерные бомбы, и др. [15].

Все радиационные инциденты и аварии на АЭС оцениваются по 8-балльной (от 0 до 7) международной шкале ядерных событий (INES), позволяющей оценить уровень опасности чрезвычайных ситуаций, связанных с атомной энергетикой. Среди них:

– авария на Ленинградской АЭС 30 ноября 1975 г. в СССР (4 уровень INES – *локальная авария без значительного риска для окружающей среды*);

– авария на АЭС Богунце 22 февраля 1977 г. в Чехословакии (4 уровень INES);

– авария на АЭС Три-Майл-Айленд 28 марта 1979 г. в США (5 уровень INES – *авария с широкими последствиями*);

– авария на АЭС Сен-Лоран-дез-О 13 марта 1980 г. во Франции (4 уровень INES);

– авария на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. в СССР (7 уровень INES – *крупная авария*);

– авария на АЭС THTR-300 4 мая 1986 г. в Германии (4 уровень INES);

– авария на АЭС «Фукусима-1» 11 марта 2011 г. в Японии (7 уровень INES).

Реально в мире произошло лишь 3 крупных аварии на АЭС:

– АЭС Три-Майл-Айленд, 1979 г., США;

– Чернобыльская АЭС, 1986 г., СССР;

– АЭС «Фукусима-1», 2011 г., Япония.

Наиболее серьезная авария произошла на Чернобыльской АЭС, которая вылилась в самую широкомасштабную и тяжелую катастрофу [17].

Сланцевая энергетика. Горючие сланцы – самая распространенная осадочная порода, сформировавшаяся на дне морских глубин под большим давлением из органического вещества растений и животных за сотни миллионов лет. Преобладают в сланцах, как правило, минеральные компоненты (кальцит, доломит, гидрослюда, каолинит, полевые шпаты, кварц, пирит и др.). Органическая часть представлена сложной смесью различных углеводородов, именуемой керогеном, на долю которой приходится в большинстве случаев 10–30 % массы породы. Только в сланцах самого высокого качества процент керогена может достигать 50–70 %.

Горючие сланцы имеют слоистую (пластинчатую) структуру серого, темно-серого, желтого,

оливкового, желто-коричневого, коричневого и черного цвета. По внешнему виду они напоминают уголь, но имеют более высокую воспламеняемость за счет керогена. Легко распадаются на отдельные слои (плитки).

Среди сланцевых залежей есть нефтяные и газоносные. В сланцевой промышленности осуществляется добыча собственно горючих сланцев, сланцевой нефти и сланцевого газа.

Сланцевая нефть бывает двух видов – Shale oil (высоковязкая сланцевая смола, получаемая из горючих сланцев после термического воздействия, по плотности и вязкости значительно отличающаяся от традиционной нефти) и Tight oil (легкая нефть, содержащаяся в плотных, низкопористых и низкопроницаемых подземных коллекторах).

Сланцевый газ – это разновидность природного газа, хранящегося в небольших газовых коллекторах, в толще сланцевого слоя Земли. Он состоит преимущественно из метана. В газовых сланцевых пластах газ может быть сухим с содержанием метана до 98 %, а может быть «жирным», в связи с содержанием в нем более тяжелых углеводородов (пропан, бутан и др.).

Кроме генерации тепловой и электрической энергии при использовании горючих сланцев, из них при глубокой переработке получают разнообразные нефтепродукты (различные виды топлива, масла, растворители, пластмассы, дорожные битумы, кровельный толь, цемент, кирпич, строительный клей, нефтеполимерные смолы, сорбенты, консерванты, гербициды, фенол, бензол, некоторые лекарственные средства – антибиотик левомецетин, психостимулятор кофеин, средство для наркоза хлороформ (сейчас для этой цели не используется), мазь нафтадерм и др.).

Горючие сланцы являются также потенциально возможным источником редких металлов (уран, никель, молибден, ванадий, рений и др.). В Швеции, например, сырьем для получения урана служат урансодержащие глинистые сланцы.

В мире известно около 600 месторождений горючих сланцев. Общие их запасы по разным оценкам составляют от 450 до 650 трлн тонн. Однако запасов сланцевой нефти, добыча которой экономически целесообразна, намного меньше. По данным корпорации British Petroleum мировые запасы извлекаемой сланцевой

нефти составляют всего лишь 32,7 млрд тонн. Наиболее оптимистичная оценка извлекаемых ресурсов сланцевой нефти указывает на 382–450 млрд тонн.

Согласно данным Министерства энергетики США, технически извлекаемые запасы сланцевой нефти в мире составляют 345 млрд баррелей (47 млрд тонн), а сланцевого газа – 207 трлн кубометров.

Первое место в мире по запасам горючих сланцев у США – 52 %, на втором месте Бразилия – 21 %, на третьем месте Россия – 11 %, затем идут Китай и Австралия – по 5 %. Остальные ресурсы сосредоточены в Эстонии, Болгарии, Украине, Великобритании, Германии, Франции, Испании, Австрии, Канаде, Италии, Швеции, Иордании и на территории бывшей Югославии. Однако большинство из них расположено слишком глубоко, чтобы разработка этих месторождений была экономически оправданной. Следует отметить, что Эстония является единственной страной мира, где горючие сланцы играют ключевую роль в ее энергетическом балансе (около 50 %).

Россия занимает первое место в мире по запасам сланцевой нефти – 75 млрд баррелей, или 22 % от мировых запасов, затем идут США – 58 млрд, Китай – 32 млрд. В то же время Китай – лидер по запасам сланцевого газа – 31,5 трлн кубометров, или 15 % от общемировых. Вслед за Китаем идут Аргентина, Алжир, США. Россия, чьи ресурсы сланцевого газа оцениваются в объеме 8 трлн кубометров, занимает 9-е место в мире. При этом запасы традиционного природного газа в России составляют 38 трлн кубометров. По некоторым оценкам, при существующем уровне потребления мировых запасов сланцевой нефти их может хватить на 10–11 лет, сланцевого газа – на 64 года [11].

Масштабная промышленная добыча сланцевой нефти и газа была начата в США в начале 2000-х гг. в штате Техас, где впервые применена комбинация двух технологий – наклонно-направленного, в том числе горизонтального, бурения и многостадийного гидроразрыва сланцевых пластов. Благодаря резкому росту сланцевой добычи, названной «сланцевой революцией», в 2009 г. США стали мировым лидером по общей добыче газа, причем более 40 % приходилось на нетрадиционные источники (метан угольных пластов и сланцевый газ). Благодаря

новым технологиям, США с 2008 по 2018 г. увеличили в 2 раза добычу нефти, а добычу природного газа – на 55 %.

В число стран, добывающих сланцевую нефть, сейчас кроме США входят Украина, Польша, Аргентина. По некоторым оценкам, в ближайшие 2–3 десятилетия лидерами в добыче сланцевой нефти помимо США будут Китай, Россия, Аргентина и Колумбия. В долгосрочной перспективе добыча сланцевой нефти может начаться во многих странах.

В настоящее время доля нетрадиционной сланцевой нефти в мировой добыче составляет порядка 10 %, тогда как в 2012 г. она не превышала 2 %.

Тем не менее, несмотря на широкое распространение сланцевых месторождений, объемы добычи и использования горючих сланцев пока невелики. Одна из причин – значительная их зольность, а значит, и значительное содержание в них пустой породы, что существенно снижает удельную теплоту сгорания и делает экономически нецелесообразной транспортировку сланцев на большие расстояния.

Сланцевая энергетика, естественно, не лишена экологических минусов [2, 11, 19]. Ущерб окружающей среде и здоровью населения наносится не только использованием сланцевой нефти и газа для получения тепла и электроэнергии с соответствующими вредными выбросами, а также опасными для здоровья различными продуктами, получаемыми из них, но и их добычей. Так, немало вреда приносит запрещенная в некоторых странах технология извлечения углеводородов из сланцев методами наклонного бурения с формированием протяженных горизонтальных участков и гидроразрыва пластов (фрекинг). Дело в том, что для одного гидроразрыва пласта требуется от 5000 до 20 000 т смеси воды, песка и химикатов. Для проведения одного гидроразрыва (а таких гидроразрывов производится в год десятки на одной скважине) необходимо до 500 наименований различных химикатов общей массой от 80 до 300 т. Вблизи месторождений скапливаются большие объемы загрязненной химическими веществами отработанной воды, содержащей толуол, бензол, диметилбензол, этилбензол, мышьяк и др. вещества, часть из которых проявляют канцерогенные свойства. Это приводит к загрязнению грунтовых и поверхностных вод, питьевой

воды со всеми вытекающими последствиями для здоровья населения. При этом растет также сейсмическая активность в связи с изменением структуры недр в результате использования своеобразной системы бурения и гидро-разрывов, которая провоцирует возникновение землетрясений.

Учитывая серьезные негативные последствия технологий фрекинга, в 2012 г. был даже введен Всемирный день против фрекинга – 22 сентября, а Израиль и некоторые другие страны пытаются разработать технологии безводной добычи сланцев. Неблагоприятное влияние на окружающую среду при добыче горючих сланцев оказывают и выбросы в атмосферу сопутствующих газов (оксиды углерода, метан и др.). Меньшее негативное значение имеют изменения естественного ландшафта.

Торфяная энергетика. До сих пор нет однозначного мнения по вопросу о том, к какому виду источников энергии следует отнести торф. Одни считают, что это невозобновляемый источник энергии, другие придерживаются противоположной точки зрения. Есть и третье мнение, согласно которому торф является условно возобновляемым источником энергии. Скорее всего, торф следует отнести, все-таки, к невозобновляемым источникам энергии, т. к., с одной стороны, торфонакопление происходит постоянно, но, с другой стороны, – это очень медленный процесс. Современные торфяные залежи сформировались за 10–12 тыс. лет. Скорость образования слоев торфа колеблется от 0,2 до 1 мм в год или до 1 метра за 1 тысячу лет. Поэтому, с учетом современных темпов развития человечества, расширения сферы его деятельности и все возрастающей потребности в энергетических ресурсах, торф следует считать невозобновляемым источником энергии, но возобновляемым природным ресурсом.

Торф представляет собой аморфное органическое вещество, образовавшееся в результате неполного разложения болотных растений (осоки, пушицы, морошки, шейхцерии, сфагновых и зеленых мхов, вересковых и других кустарников, деревьев – березы, ольхи, сосны и др.) при недостатке кислорода и обилии влаги. Он является, своего рода, промежуточным продуктом между почвой и бурым углем, залегает на поверхности земли или на глубине нескольких десятков метров. В случае захороне-

ния торфа под новыми осадками он постепенно трансформируется в бурый, а затем – в каменный уголь. Цвет торфа варьирует от светло-желтого до землисто-черного. Органических соединений в торфе менее 50 % в расчете на сухую массу. В естественном состоянии торф содержит 86–95 % воды. В состав торфа входят целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, гуминовые и фульвовые кислоты, битумы, фенолы, много химических элементов – кремния, кальция, железа, алюминия, ванадия, никеля, кобальта, меди, марганца, бария, титана и др.

В качестве торфяного топлива используются фрезерный и кусковой торф, торфяные брикеты. Стоимость единицы энергии на электростанции, работающей на торфе, в 3 раза дешевле, чем на нефти, и на 20 % меньше, чем на угольной ТЭЦ.

Кроме источника энергии, торф используется в качестве удобрения в сельском хозяйстве и дачном садоводстве, подстилочного, изоляционного и упаковочного материала, торфяных горшочков, грунта для теплиц, кормовых добавок, торфяных фильтрующих элементов. Из торфа можно производить одежду, активированный уголь, некоторые лекарства, графит, фенол, спирт, парафин, воск, резину и др. – всего более 70 видов продукции. Кроме того, торф поглощает нефть, растекающуюся по поверхности воды. На верховых залежах торфа можно выращивать торфодерновые ковры для озеленения, зеленого строительства, борьбы с ветровой эрозией, закрепления откосов в дорожном строительстве и т. д.

По некоторым данным мировые запасы торфа составляют около 500 млрд т, в том числе разведанные – свыше 235 млрд т. По одним данным первое место по запасам торфа занимает Россия (150–188 млрд тонн), по другим – Канада (111–170 млрд тонн).

Пик мировой добычи торфа пришелся на 1984–1985 гг., когда добывалось около 380 млн т торфа в год. В последующем, объем его мировой добычи постоянно сокращался и уже к 1992 г. составил всего лишь 29 млн т.

С начала 21-го века в ряде стран отмечается подъем торфяной отрасли, в частности, в Беларуси, России, Ирландии, Финляндии, Швеции, Латвии, Польше, в других – ее спад. В последнее время ежегодная добыча торфа в мире колеблется возле отметки 25 млн т. При этом Беларусь занимает 1-е место в мире по объемам

добычи торфа и 1-е место в мире по объему производства брикетов [14].

В 2009 г. торф в России даже включили в энергетическую стратегию на период до 2030 г. В этом документе торф обозначен как один из важнейших и перспективных местных источников топлива и к 2020 г. предусмотрено было увеличение его добычи в 4 раза, а ежегодный объем производства должен составить 8 млн тонн. Однако к настоящему времени ежегодная добыча торфа в России не превышает 1,5 млн тонн, а производство топливного торфа при этом демонстрирует тенденцию к снижению. Основной объем потребляемого в России торфа идет на сельскохозяйственные и садоводческие нужды и только 5 % используется в качестве топлива.

Добыча торфа, например, в странах Балтии (Латвия, Литва, Эстония) является полностью экспортоориентированной. Поставки осуществляются во многие страны мира, что свидетельствует о повсеместном спросе на торф и торфопродукты, а также об экономической целесообразности их морских перевозок на большие расстояния. Надо отметить, что торф является объемным топливом с невысокой теплотворной способностью, поэтому транспортировка его, как источника энергии, на расстояния более 100–150 км не всегда может быть экономически обоснованной.

Много внимания торфяной энергетике уделяет Беларусь. С 1932 г. по 1990 г. существовал даже Институт торфа АН БССР. В республике

лике разведано более 9 тыс. торфяных месторождений, но разрабатывается сейчас – 55, а общие запасы торфа оцениваются по разным данным от 2,4 до 4 млрд т, из которых для промышленной разработки пригодны немногим более 300 млн т. Вплоть до 60-х гг. XX века, торф («коричневое золото») оставался основным видом топлива, на котором работало большинство электростанций республики. Строились новые торфопредприятия и крупные теплоэлектростанции на торфе. Беларусь даже называли «Торфяным Донбассом» [13].

Максимальный уровень добычи торфа был достигнут в 1974 г. – 16,8 млн т. Для этого осушили более 80 % торфяников белорусских болот, что имеет и обратную экологическую сторону. С конца 70-х гг. доля торфа в энергетическом обеспечении страны постепенно уменьшалась, и к 1986 г. сжигание торфа прекратилось. Позже топливное направление торфяной промышленности в республике возродилось и в последнее десятилетие ежегодная добыча топливного торфа составляет 1–2,7 млн т, часть его идет на экспорт в 21 страну мира – Словакию, Швецию, Литву, Латвию, Турцию и другие страны. География экспорта расширяется. В 2023 г. в Беларуси добыто 2,2 млн т торфа, в том числе 1,4 млн т фрезерного – для производства торфяного топлива.

Как отметила заместитель Министра энергетики Республики Беларусь Ольга Прудникова: «Беларусь обеспечена запасами торфа на ближайшие 100 лет... спрос на местные виды то-



Добыча торфа в Беларуси



Современная торфяная электростанция мощностью 150 МВт в Ирландии

плива, в том числе торф, будет расти... Наблюдается рост экспорта торфяной продукции топливной и нетопливной группы» [14].

Торфяные производства – очень пыльные. Правда, содержание вредных примесей в торфе значительно меньше, чем в угле. Однако при сжигании торфа также образуется немало вредных веществ, включая золу и пыль, оксиды углерода, азота, серы, полициклические ароматические углеводороды, диоксин, плавиковую и хлороводородную кислоты, аммиак и др., которые при длительном воздействии могут вызвать серьезные заболевания. Много вредных веществ попадает в атмосферный воздух при горении торфяников. Проведенные исследования показали, что торфяной дым опаснее для здоровья, чем древесный, его вдыхание приводит к повреждению ДНК клеток, способствует развитию бронхолегочных заболеваний, болезней глаз и др. [4].

Кроме того, экологические проблемы, связанные с добычей торфа, возникают вследствие масштабного осушения болотных массивов, а это нарушает природное равновесие. Белорусские болота не зря называют легкими Европы, так как они ежегодно выводят из атмосферы миллионы тонн углекислого газа.

Даже при общем положительном тренде в развитии торфяной промышленности в мире, доля этого источника энергии в мировом энергетическом балансе останется крайне ничтожной. В настоящее время она составляет примерно одну тысячную от общего объема энер-

гии, потребляемой в мире, но в отдельных странах на долю торфа приходится существенно больше.

В Ирландии, например, за счет торфа покрывается 40 % потребляемой энергии, а в Швеции ряд районов полностью работает на топливном торфе.

Таким образом, различные источники получения энергии характеризуются значительными отличиями по степени негативного влияния на окружающую среду и здоровье человека. Человечеству необходимо определиться с перспективами развития каждого из существующих энергетических источников в целях разрешения сложившейся дисгармонии между системами энергообеспечения населения планеты и их негативным влиянием на окружающую среду и здоровье человека. Человечество уже давно превысило порог саморазрушения биосферы и, соответственно, самого себя. Необходимо разрабатывать новые экологически чистые и высокоэффективные технологии обеспечения человечества энергией в полном объеме. В следующей статье мы рассмотрим экологические последствия использования возобновляемых источников энергии, оказывающих гораздо меньшее отрицательное влияние на окружающую среду и здоровье человека, а также перспективы изменений, происходящих в структуре мирового энергетического баланса, и подходы к поиску новых экологически безупречных и высокоэффективных источников энергии.

Литература

1. Американские аналитики прогнозируют к 2050 году рост мирового энергопотребления почти на 50 % // Научный портал «Атомная энергия 2,0» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/10/11/118292>. – Дата доступа: 10.01.2024.
2. Битнер, А. К., Прокатень Е. В., Свиридов Л. И. Нефтегазовая геозология: учебное пособие [Электронный ресурс]. – 2021. – 374 с. – Режим доступа: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/144544>. – Дата доступа: 15.01.2024.
3. Бушуев, В. В. Перспективы развития мировой энергетики до 2050 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/292>. – Дата доступа: 18.01.2024.
4. Горбатова, Д. М., Жанатаев А. К., Немова Е. П., Дурнев А. Д. Повреждения ДНК в клетках плацент и эмбрионов крыс, подвергнутых воздействию торфяного дыма; антигенотоксический эффект афобазола // Экологическая генетика. – 2016. – Т. 14, № 2. – С. 50–56.
5. Грачев, В. А., Плямина О. В. Глобальные экологические проблемы, экологическая безопасность и экологическая эффективность энергетики // Век глобализации. – 2017. – № 1. – С. 86–97.
6. Дегтярев, К. С. Динамика мирового энергопотребления в XX–XXI вв. и прогноз до 2100 года [Электронный ресурс] // Окружающая среда и энергосбережение. – 2020. – № 2. – Режим доступа: <http://jeees.ru/2021/05/05/динамика-мирового-энергопотребления>. – Дата доступа: 11.01.2024.
7. Зиновьева, О. М., Колесникова Л. А., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах // Уголь. – 2020. – № 10. – С. 62–67.
8. Из-за выбросов угольных ТЭС в Украине и ЕС умирают тысячи человек – исследование [Электронный ресурс] // Экономическая правда. – 2021. – Режим доступа: <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2021/09/8/677591>. – Дата доступа: 13.04.2022.
9. Кирвель, И. И., Петровская В. И., Цявловская Н. В. Экологические проблемы использования энергоресурсов: методическое пособие для практических занятий по дисциплине «Основы экологии и энергосбережение». – Минск: БГУИР, 2007. – 21 с.
10. Крылов, Д. А. Негативное влияние элементов-примесей от угольных ТЭС на окружающую среду и здоровье людей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 12. – С. 77–87.
11. Левицкий, Л. Сланцевая экспансия [Электронный ресурс] // Парламентская газета. – 2015. – Режим доступа: <https://www.pnp.ru/economics/slancevaya-ekspansiya.html>. – Дата доступа: 20.08.2022.
12. Миллиарды людей по-прежнему дышат нездоровым воздухом: новые данные ВОЗ [Электронный ресурс] // Пресс-релиз Всемирной организации здравоохранения. – 2021. – Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>. – Дата доступа: 14.04.2022.
13. Михайловская, С. Универсальный ресурс. О становлении торфяной отрасли // Беларуская думка. – 2009. – № 2. – С. 34–39.
14. Прудникова, О. Беларусь обеспечена запасами торфа на ближайшие 100 лет [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://www.minenergo.gov.by/press/glavnye-novosti/olga-prudnikova-belarus-obespechena-zapasami-torfa-na-blizhayshe-100-let>. – Дата доступа: 19.05.2022.
15. Основы радиозологии и безопасной жизнедеятельности / под общ. ред. Г. А. Соколик, С. В. Овсянниковой, Т. Н. Ковалевой. – Минск: Тонпик, 2008. – 368 с.
16. Разливы нефти: почему они случаются так часто и можно ли их предотвратить [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/5fb2784e9a79477fa024d06>. – Дата доступа: 10.07.2022.
17. Семененя, И. Н. Беларусь и Чернобыль: 30 лет спустя // Охрана труда. Технологии безопасности. – 2016. – № 6. – С. 50–59 (начало); 2016. – № 8. – С. 63–70 (окончание).
18. Сравнительная характеристика различных способов производства электроэнергии (часть первая) [Электронный ресурс] // Научный портал «Атомная энергия 2,0». – 2021. – Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/papers/21258>. – Дата доступа: 15.04.2022.
19. Степаненко, И. Б., Соромотин А. В., Лекомцев А. В. Экологические проблемы, вызванные деятельностью предприятий нефтегазового сектора, и действия компаний по снижению вреда экологии [Электронный ресурс] // Отходы и ресурсы. – 2019. – № 3. – Режим доступа: <https://resources.today/PDF/02ECOR319.pdf>. – Дата доступа: 18.01.2024.
20. Трофименко, А. П. Сравнительный анализ экологического воздействия атомных и тепловых станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/018/29018605.pdf. – Дата доступа: 15.04.2022.

References

1. *Amerikanske* analitiki prognoziryuyut k 2050 godu rost mirovogo energopotrebieniya pochti na 50 % [Electronic resource] // Nauchnyy portal "Atomnaya energiya 2,0". – Access of mode: <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/10/11/118292>. – Access of date: 10.01.2024.
2. *Bitner*, A. K., *Prokaten' E. V.*, *Sviridov L. I.* *Neftegazovaya geoeekologiya: uchebnoe posobie* [Electronic resource]. – 2021. – 374 s. – Access of mode: <https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/144544>. – Access of date: 15.01.2024.
3. *Bushuev*, V. V. *Perspektivy razvitiya mirovoj energetiki do 2050 g.* [Electronic resource]. – Access of mode: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/292>. – Access of date: 18.01.2024.
4. *Gorbatova*, D. M., *Zhanataev A. K.*, *Nemova E. P.*, *Durnev A. D.* *Povrezhdeniya DNK v kletkah placent i embriionov krysa, podvergnutykh vozdeystviyu torfyanaogo dyma; antigenotoksicheskij effekt afobazola* // *Ekologicheskaya genetika*. – 2016. – Vol. 14, № 2. – S. 50–56.
5. *Grachev*, V. A., *Plyamina O. V.* *Global'nye ekologicheskie problemy, ekologicheskaya bezopasnost' i ekologicheskaya effektivnost' energetiki* // *Vek globalizacii*. – 2017. – № 1. – S. 86–97.
6. *Degtyarev*, K. S. *Dinamika mirovogo energopotrebieniya v XX–XXI vv. i prognoz do 2100 goda* [Electronic resource] // *Okruzhayushchaya sreda i energovedenie*. – 2020. – № 2. – Access of mode: <http://jeees.ru/2021/05/05/dinamika-mirovogo-energopotrebieniya>. – Access of date: 11.01.2024.

7. Zinov'eva, O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M., Smirnova N. A. Analiz ekologicheskikh problem v ugledobyvayushchih regionah // Ugol'. – 2020. – № 10. – S. 62–67.

8. *Iz-za vybrosov ugol'nyh TES v Ukraine i ES umirayut tysyachi chelovek – issledovanie* [Electronic resource] // Ekonomicheskaya pravda. – 2021. – Access of mode: <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2021/09/8/677591>. – Access of date: 13.04.2022.

9. Kirvel', I. I., Petrovskaya V. I., Cyavlovskaya N. V. Ekologicheskie problemy ispol'zovaniya energoresursov: metodicheskoe posobie dlya prakticheskikh zanyatij po discipline "Osnovy ekologii i energosberezhenie". – Minsk: BGUIR, 2007. – 21 s.

10. Krylov, D. A. Negativnoe vliyanie elementov-primesej ot ugol'nyh TES na okruzhayushchuyu sredu i zdorov'e lyudej // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2017. – № 12. – S. 77–87.

11. Levickij, L. Slancevaya ekspansiya [Electronic resource] // Parlamentskaya gazeta. – 2015. – Access of mode: <https://www.pnp.ru/economics/slancevaya-ekspansiya.html>. – Access of date: 20.08.2022.

12. *Milliardy lyudej po-prezhnemu dyshat nezdorovym vozduhom: novye dannye VOZ* [Electronic resource] // Press-reliz Vsemirnoj organizacii zdavoohraneniya. – 2021. – Access of mode: <https://www.who.int/ru/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>. – Access of date: 14.04.2022.

13. Mihajlovskaya, S. Universal'nyj resurs. O stanovlenii torfyanoj otrasli // Belaruskaya dumka. – 2009. – № 2. – S. 34–39.

14. Prudnikova, O. Belarus' obespechena zapasami torfa na blizhajshie 100 let [Electronic resource]. – 2021. – Access of mode: <https://www.minenergo.gov.by/press/>

[glavnye-novosti/olga-prudnikova-belarus-obespechena-zapasami-torfa-na-blizhajshie-100-let](https://www.minenergo.gov.by/press/). – Access of date: 19.05.2022.

15. *Osnovy radioekologii i bezopasnoj zhiznedeyatel'nosti*; pod obshch. red. G. A. Sokolik, S. V. Ovsyannikovoj, T. N. Kovalevoj. – Minsk: Tonpik, 2008. – 368 s.

16. *Razlivy nefiti: pochemu oni sluchayutsya tak chasto i mozno li ih predotvratit'* [Electronic resource]. – Access of mode: <https://trends.rbc.ru/trends/green/5fb2784e9a79477fa024d06>. – Access of date: 10.07.2022.

17. *Semenenya, I. N. Belarus' i Chernobyl': 30 let spustya* // Ohrana truda. Tekhnologii bezopasnosti. – 2016. – № 6. – S. 50–59 (nachalo); 2016. – № 8. – S. 63–70 (okonchanie).

18. *Sravnitel'naya harakteristika razlichnyh sposobov proizvodstva elektroenergii (chast' pervaya)* [Electronic resource] // Nauchnyj portal "Atomnaya energiya 2,0". – 2021. – Access of mode: <https://www.atomic-energy.ru/papers/21258>. – Access of date: 15.04.2022.

19. *Stepanenko, I. B., Soromotin A. V., Lekomcev A. V. Ekologicheskie problemy, vyzvannye deyatel'nost'yu predpriyatij neftegazovogo sektora, i dejstviya kompanij po snizheniyu vreda ekologii* [Electronic resource] // Othody i resursy. – 2019. – № 3. – Access of mode: <https://resources.today/PDF/02ECOR319.pdf>. – Access of date: 18.01.2024.

20. *Trofimenko, A. P. Sravnitel'nyj analiz ekologicheskogo vozdeystviya atomnyh i teplovyh stancij* [Electronic resource]. – Access of mode: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/29/018/29018605.pdf. – Access of date: 15.04.2022.

Поступила 16.02.2024 г.