
ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭНЕРГЕТИКИ

Грачев В. А., Плямина О. В.*

Показана связь глобальных и локальных экологических проблем с энергетикой. Установлены глобальные критерии этих взаимосвязей – количество потребляемых ресурсов и выделяемых парниковых газов. Приведены количественные характеристики видов энергоносителей по этим важнейшим показателям.

Дана качественная и количественная оценка экологической эффективности различных источников энергии, в том числе альтернативных и возобновляемых. Показано, что с точки зрения решения глобальных экологических проблем наибольшие преимущества имеет атомная энергия.

Ключевые слова: экологические проблемы, энергетика – угольная, газовая, нефтяная, солнечная, ветровая, ядерная, гидроэнергетика, качественная и количественная оценка экологической эффективности.

The article describes the interrelation between global and local environmental issues and energy production. The author defines global criteria for these relationships which are the amounts of resources consumed and greenhouse gases emission. He also gives quantitative characteristics of the energy materials types with respect to these key indicators.

The article presents qualitative and quantitative evaluation of the environmental efficiency of various types of energy sources including alternative and renewable ones. It is shown that the nuclear power has the greatest benefits in terms of solution of global environmental problems.

Keywords: environmental problems, power generation – coal, gas, oil, solar, wind, and nuclear, hydraulic power generation, qualitative and quantitative evaluation of environmental performance.

Экологически обусловленная угроза существованию человеческой цивилизации официально признана на самом высоком межгосударственном уровне; научно-технический прогресс создал опасность экологической катастрофы, и само понятие «развитие» поставлено под вопрос. Появилась насущная необходимость пересмотра шкалы человеческих ценностей.

Потребительское отношение к природе поставило ее на грань выживания. Доминирующие схемы производства и потребления ведут к экологическому опустошению, возрастающему риску для жизни и здоровья людей из-за снижения

* Грачев Владимир Александрович – д. т. н., профессор, член-корреспондент Российской академии наук, президент Российской экологической академии, советник генерального директора госкорпорации «Росатом». E-mail: vagrachev@gmail.com.

Плямина Ольга Владимировна – директор Научно-исследовательского института проблем экологии, главный ученый секретарь Российской экологической академии. E-mail: delo.gva@gmail.com.

качества окружающей среды. Основы глобальной безопасности находятся под угрозой.

Как следует из доклада Комиссии ООН по проблемам окружающей среды (UNEP), прогноз развития человечества до 2032 г. неутешителен. Под воздействием человеческой деятельности на планете произойдут необратимые изменения. Будет так или иначе деформировано более 70 % земной поверхности, безвозвратно утрачено более 1/4 всех видов животного и растительного мира, невосполнимым дефицитом станут безопасный воздух, чистая питьевая вода, ненарушенные ландшафты, уменьшится способность природы восстанавливаться после антропогенного воздействия.

Именно высокое качество природной среды является главным богатством человечества и безусловной ценностной категорией, сущностью *глобальных экологических интересов*. По данным ВОЗ, уже сегодня 80 % всех болезней в мире возникает из-за потребления некачественной питьевой воды, а по оценкам МАГАТЭ, ежегодно 5 млн человек умирают от болезней, связанных с потреблением загрязненной и некачественной воды. Вода вполне может стать едва ли не главной причиной будущих вооруженных конфликтов, таких же, какие сейчас возникают из-за нефти.

Даже самая поверхностная статистика, связанная с экологическим состоянием территории России, дает неутешительные прогнозы: так, на сегодняшний день более трети городского населения РФ проживает на территориях, где не проводятся мониторинговые наблюдения за загрязнением атмосферы, а более половины – в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферы.

Россия вместе со всей планетой переживает серьезные экологические проблемы – растет средняя температура воздуха, отступает вечная мерзлота, наблюдаются различные проявления нестабильности климатического характера. Проблема глобального потепления со все большей очевидностью сопровождается проблемами экологических последствий, вызванными усилением экстремальных погодных условий.

Экологические проблемы в зависимости от масштаба воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду принято разделять на глобальные и локальные. Глобальные экологические проблемы непосредственно связаны с локальными экологическими проблемами (рис. 1).

Для удовлетворения потребности в энергии существуют возобновляемые и невозобновляемые источники. Солнце, ветер, гидроэнергию, приливы и некоторые другие источники энергии называют возобновляемыми, так как их использование человеком практически не изменяет их запасы. Уголь, нефть, газ, торф, уран относят к невозобновляемым источникам энергии, и при переработке они теряются безвозвратно.

В то же время такая классификация довольно условна, например, использование урана в закрытом топливном цикле ближе скорее к возобновляемому типу.



Рис. 1. Взаимосвязь глобальных и локальных экологических проблем

Глобальные экологические проблемы тесно связаны прежде всего с экономическим положением в конкретных странах, основными показателями которого являются ВВП на душу населения, а также производство и потребление энергии (табл. 1).

Таблица 1

Основные энергетические характеристики стран мира – главных потребителей первичной энергии

Страна	Население, млн чел. *	ВВП на душу населения по ППС, долл. США **	Мощность электростанций ГВт (э) **	Потребление электроэнергии	
				Всего, млрд кВт·час *	На душу населения в год (кВт·час на 1 чел.)
США	311,6	49 800	1025	4380,1	14 057
Китай	1344	9100	1146	3684,5	2742
Россия	143	17 700	223,1	1020,6	7137
Япония	127,8	36 200	284,5	1079,8	8450
Индия	1193	3900	189,3	909,4	762

* – на 2010 г., кроме потребления электроэнергии в Китае и Индии (на 2009 г.) [Россия... 2012].

** – на 2012 г., кроме мощности электростанций в Японии, Индии (на 2009 г.) и США (на 2010 г.) [Central...].

Из табл. 1 видно, что энергопотребление в развитых странах в 11–17 раз выше, чем в развивающихся (например, Китае и Индии).

Если все страны мира в ближайшие 15–20 лет выйдут на уровень потребления энергии США или хотя бы «экономной» Японии, то общее потребление энергии возрастет в соответствии с численностью населения, то есть практически в 15 раз. Готова ли мировая энергетика к такому «большому скачку»? Конечно же, нет. На планете просто нет столько органического топлива. Поэтому можно сделать следующий вывод: развитие энергетики должно идти в направлении использования новых мощных источников энергии без сжигания органического топлива.

Тенденция к использованию электрической энергии очевидна. Но это лишь промежуточная форма, то есть для того чтобы произвести энергию, нужно иметь первичный достаточно мощный источник.

Исчерпаемые энергоресурсы – нефть, уголь и газ наряду с ураном (ядерная энергетика) – в ближайшие десятилетия останутся основными источниками энергии (рис. 2), причем доля энергопроизводства, основанного на использовании углеводородного сырья, по-прежнему будет наибольшей. Тем не менее ограниченность запасов нефти и газа является очевидной. Перспектива их активного использования просматривается только лишь на несколько десятилетий. В течение этого времени использующие нефть и газ энергопроизводящие мощности должны быть заменены другими [International... 2008; Фортов, Макаров 2009; Макаров 2009].

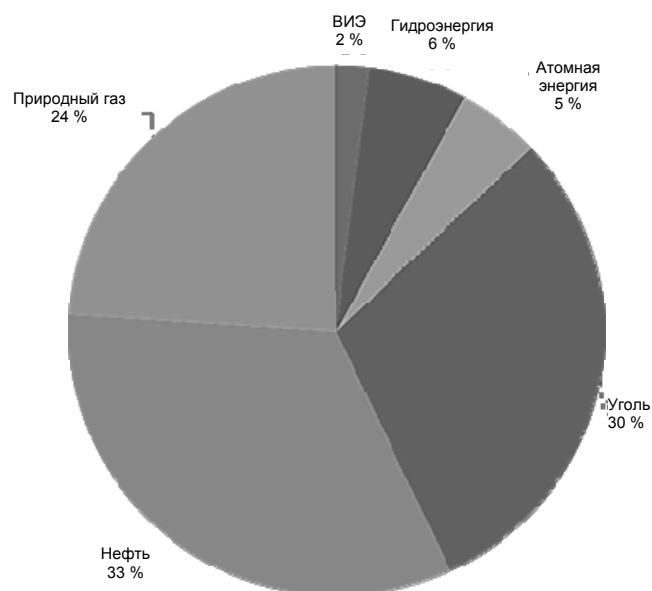


Рис. 2. Вклад различных видов энергоносителей в производство электроэнергии в мире [BP 2012]

Главная проблема, интересующая человечество, – это обеспечение экологической безопасности. Понятие «экологическая безопасность» определено в законе «Об охране окружающей среды»: «Экологическая безопасность – состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от воз-

возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий» [Федеральный... 2002].

Угрозы экологической безопасности:

- разрушение озонового слоя;
- изменение климата;
- трансграничное воздействие на окружающую среду;
- деградация экосистем;
- потеря биологического разнообразия;
- уменьшение лесного покрова;
- деградация сельскохозяйственных угодий;
- истощение и дефицит природных ресурсов;
- химическое, физическое, радиационное загрязнение окружающей среды.

Глобальные экологические проблемы тесно связаны с глобальными энергетическими проблемами (рис. 3).

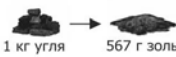




Связь между глобальными экологическими и энергетическими проблемами особенно видна при сравнении двух показателей:

- 1) требуемой массы изымаемых ресурсов для получения единицы энергии;
- 2) глобального влияния на природу через выделение парниковых газов.

В табл. 2 приведены основные характеристики различных способов генерации электроэнергии по двум глобальным показателям: выбросам парниковых газов и мощности энерговыделения на единицу массы, свидетельствующих об эффективности использования внутренней энергии вещества, то есть ядерной и термоядерной энергии. На этом, собственно, основано и существование Солнечной системы, энергия в которой существует благодаря двум реакторам: ядерному (внутри Земли) и термоядерному (на Солнце).

Таблица 2

Глобальная эффективность различных способов генерации энергии

Способ генерации		Выбросы парниковых газов	Количество энергии на 1 кг вещества
ГОРЕНИЕ	уголь  1 кг угля → 567 г золы	CO ₂ = 2,76 т (от сжигания 1 т угля)	7 кВт·ч/кг
	природный газ 	CO ₂ = 1,62 т (от сжигания 1 т газа)	14 кВт·ч/кг
ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ 		CO ₂ = 0	24 000 000 кВт·ч/кг
ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ 		CO ₂ = 0	60 000 000 кВт·ч/кг
КВАРК-ГЛЮОННЫЙ УРОВЕНЬ  БОЗОН ХИГГСА		CO ₂ = 0	6 940 387 213 578 000 кВт·ч/кг

Решением проблемы обеспечения энергией могло бы стать полноценное овладение энергией термоядерного синтеза. Однако исследования последних лет показали, что на сегодняшнем уровне развития техники и технологий на пути

полномасштабного использования термоядерной энергии существует ряд технических проблем, решением которых ученые занимаются последние 50 лет без каких-либо значительных успехов.

Таким образом, среди существующих альтернативных возможностей замены реально покрывать растущие потребности человечества в энергии на ближайшие несколько сотен лет позволят только современные технологии топливной и ядерной энергетики.

Наиболее интересны с точки зрения влияния на природу и здоровье человека угольная и ядерная энергетика, так как только эти два вида энергоносителей обладают запасами на достаточно длительный период. Так, по данным В. Г. Родионова [2010], угля хватит на 420 лет, тогда как углеводородов уже к 2030 г. останется только 1/5 часть от имеющихся запасов, то есть они могут быть в основном исчерпаны в ближайшие 30 лет. В то же время запасов урана с учетом вовлечения изотопа 238 в быстрых реакторах хватит на тысячи лет.

Уголь. Атмосферные выбросы от угольных станций стали причиной так называемых кислотных дождей, которые губят растительность, почву, водоемы и прежде всего здоровье людей. Чтобы оценить объемы выпадающих кислотных дождей, достаточно представить себе, что одна ТЭС мощностью 1000 МВт, работающая на угле с содержанием серы около 3,5 %, несмотря на применение средств очистки, выбрасывает в атмосферу примерно 140 тыс. т сернистого ангидрида в год, из которого образуется около 280 тыс. т серной кислоты. С поверхностей золоотвалов ветер поднимает золу, образуя пыльные бури, ежегодный объем золошлаковых отходов ТЭС СНГ в настоящее время превышает 120 млн т.

Перечень основных веществ, выбрасываемых в окружающую среду в результате работы угольных электростанций, а также основных экологических последствий представлен в табл. 3, потенциальное воздействие выбросов угольных станций на организм человека показано на рис. 3.

Таблица 3

Выбросы вредных веществ в результате сжигания угля и основные экологические последствия

Вещество	Основные экологические последствия
SO₂ (диоксид серы)	Способствует формированию кислотных дождей и возникновению заболеваний дыхательных путей и сердечно-сосудистых заболеваний
NO_x (оксиды азота)	Способствуют формированию смога и возникновению заболеваний дыхательных путей
Твердые частицы	Способствуют формированию смога, дымки, возникновению заболеваний дыхательных путей и легких
CO₂ (углекислый газ)	Парниковый газ: поглощает инфракрасное излучение, происходит аккумуляция части тепла в атмосфере, что ведет к повышению температуры
Ртуть и пр. тяжелые металлы	Вызывают нарушения развития и неврологические нарушения у людей и животных. При попадании в воду образуется метилртуть – высокотоксичное химическое вещество, накапливающееся в рыбе, животных и людях
Зола-унос и золошлак	Вымывание этих веществ с мест хранения и захоронения в грунтовые воды и прорыв ряда крупных зольных захоронений стали острыми экологическими проблемами

В процессе сжигания угля происходит радиоактивное загрязнение окружающей среды, содержащиеся в нем радионуклиды (^{238}U , ^{210}Pb , ^{40}K , ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{230}Th и др.) выбрасываются в атмосферу и концентрируются в золе, выделение радиоактивных веществ на единицу полученной энергии на угольных ТЭС больше, чем на АЭС.

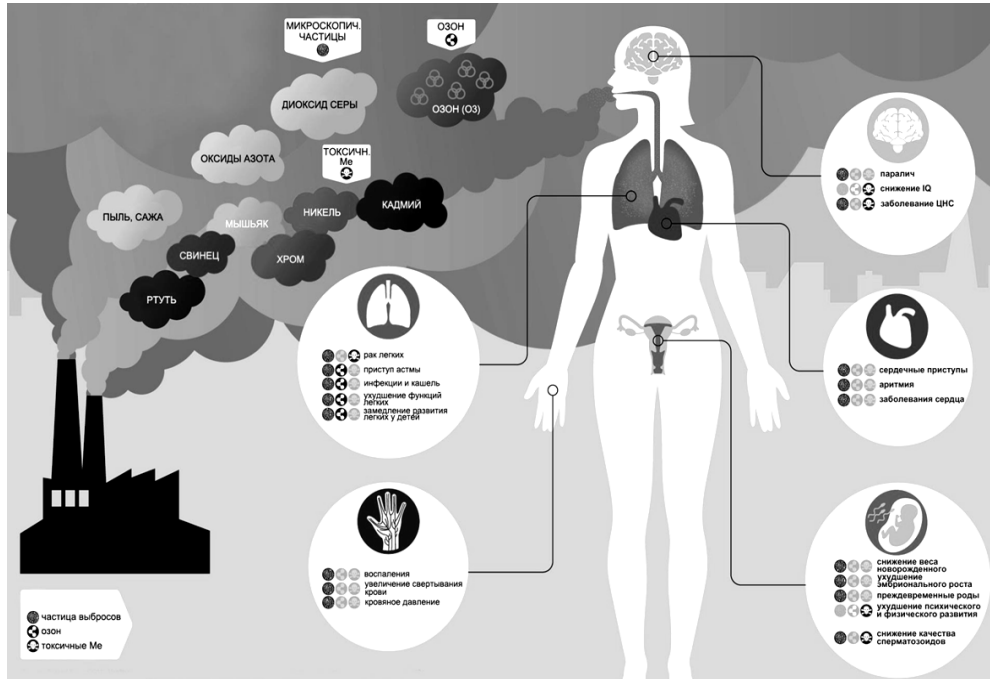


Рис. 3. Воздействие выбросов угольных станций на организм человека

Наиболее чистое органическое топливо – *природный газ*. Остановимся на таком источнике, как *сланцевый газ*.

Проведенные исследования [Grachev, Lobkovsky 2015] выявили 5 основных экологических проблем добычи сланцевого газа:

- 1) загрязнение водоносных слоев высокотоксичными веществами и поверхностных водоемов сточными водами;
- 2) выбросы метана в атмосферу;
- 3) повышение радиоактивного фона в районах добычи;
- 4) увеличение вероятности землетрясений;
- 5) изъятие из оборота значительных земельных и водных ресурсов.

Основные экологические проблемы, возникающие при добыче и использовании нефти в качестве энергоресурса, связаны с:

- химическим загрязнением грунтовых вод при добыче, химическим и тепловым загрязнением вод поверхности, образованием нефтяной пленки;
- нарушением ареалов обитания фауны и произрастания флоры;
- загрязнением и деградацией почвенного покрова;
- значительным водозабором.

Атомная энергетика не потребляет кислорода, не выбрасывает в атмосферу и водоемы вредные химические вещества, она существенно экономит расхода-

ние органического топлива, запасы которого достаточно ограничены. В частности, в пяти наиболее развитых странах мира ядерная энергетика позволяет экономить в год до 440 млн т угля (в России – 65,3 млн т), 350 млн т нефти (в России – 40,3 млн т), до 280 млрд м³ газа (в России – 36,8 млрд м³), предотвратить сжигание свыше 450 млн т кислорода (в России – 36 млн т), сохранить земельные пространства на территории в 70 тыс. га (в России – 11 тыс. га). Экологически чистым районом Европы называют Францию, где выработка электроэнергии на АЭС превышала 70 % от общей выработки.

Из всех видов ВИЭ только **гидроэнергия** в настоящий момент вносит заметный вклад во всемирное производство электроэнергии (17 %). В большинстве промышленно развитых стран незадействованным на сегодня остался лишь незначительный по объему гидроэнергетический потенциал, что связано прежде всего с необходимостью отчуждения значительных территорий при организации ГЭС. Основные экологические последствия **гидроэнергетики**:

- затопление сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов;
- нарушение водного баланса, что ведет к изменению условий существования флоры и фауны;
- климатические последствия (изменение теплового баланса, увеличение количества осадков, скорости ветра, облачности и т. д.);
- заиливание водоема и эрозия берегов, ухудшение самоочищения проточных вод и уменьшение содержания кислорода, затрудняется свободное движение рыб;
- гидроэнергетические сооружения в потенциале несут в себе опасность крупных катастроф.

Ветроэнергетика также оказывает негативное воздействие на окружающую среду:

- отчуждение больших земельных площадей (так, например, для текущего уровня производства электроэнергии во Франции с применением энергии ветра потребуется порядка 20 тыс. км² земли – 4 % территории страны);
- ветровая энергетика является нерегулируемым источником энергии;
- шумовые воздействия (при использовании установки мощностью 2–3 МВт возникает необходимость отключения ее в ночное время);
- помехи для воздушного сообщения и для радио- и телевидения, нарушение путей миграции птиц (установка мощностью 2–3 МВт должна иметь диаметр ветряного колеса 100 м);
- локальные климатические изменения вследствие нарушения естественной циркуляции воздушных потоков;
- опасность для мигрирующих птиц и насекомых;
- изменение традиционных морских перевозок, неблагоприятное воздействие на морских животных (при размещении ветроустановок в водной среде);
- ландшафтная несовместимость, непривлекательность, визуальная дискомфортность.

Солнечные электростанции (СЭС) эффективны только для территорий с высоким уровнем инсоляции. В средней полосе европейской части России интенсивность солнечного излучения составляет 150 Вт/м², что в 1000 раз меньше тепловых потоков в котлах ТЭС. При использовании СЭС возникает ряд экологических проблем:

- отчуждение больших земельных площадей, их возможная деградация (только для СЭС в 1 ГВт (эл.) в средней полосе европейской части России при 10 % КПД необходима минимальная площадь в 67 км²);
- затемнение больших территорий солнечными концентраторами;
- большая материалоемкость (затраты времени и людских ресурсов в 500 раз больше, чем в традиционной энергетике);
- возможные утечки рабочих жидкостей, содержащих хлораты и нитриты;
- перегрев и возгорание систем, загрязнение продукции токсичными веществами при использовании солнечных систем в сельском хозяйстве;
- изменение теплового баланса, влажности, направления ветра в районе расположения станции;
- воздействие космических СЭС на климат;
- передача энергии на Землю в виде микроволнового излучения, опасного для живых организмов и человека.

Основные экологические последствия **биоэнергетики**:

- выбросы твердых частиц, канцерогенных и токсичных веществ, окиси углерода, биогаза, биоспирта;
- выброс тепла, изменение теплового баланса;
- обеднение почвенной органики, истощение и эрозия почв (для производства из навоза биогаза для выработки 1000 МВт электрической энергии требуются 80 млн свиней или 800 млн птиц на площади 80–100 км²);
- взрывоопасность (биогазовая электроустановка должна контролироваться и содержаться в исправности в соответствии с инструкциями);
- большое количество отходов в виде побочных продуктов (промывочные воды, остатки перегонки).

Оценка экологической эффективности воздействия энергогенерации на окружающую среду, выполненная в данной работе на основе балльной оценки различных способов генерации электроэнергии, позволила провести сравнительный анализ экологической эффективности производства электроэнергии при использовании различных видов энергоресурсов по семи важнейшим показателям: объем выбросов парниковых газов, объем выбросов вредных веществ в атмосферу, объем сбросов в водные источники, образование отходов, отчуждение земельных ресурсов, выделение радиоактивных веществ в окружающую среду и риск для людей (табл. 4).

Таблица 4

Сравнительные показатели экологической эффективности различных способов производства энергии

№ п/п	Показатель	Баллы различных способов генерации энергии					
		Уголь	Газ, нефть	Гидро-энергия	Солнце	Ветер	Ядерная энергия
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Количество выделяющихся парниковых газов	10	7,2	0,1	0,7	0,3	0,1
2	Выброс вредных веществ в атмосферу	10	4,3	0,1	5	0,1	0,1

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Сброс вредных веществ в водные источники	5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
4	Образование отходов	10	1,7	0,1	3	3	0,1
5	Отчуждение земельных ресурсов	0,1	0,1	10	3,3	5	0,1
6	Выделение радиоактивных веществ в окружающую среду	10	0,4	0,1	0,1	0,1	5
7	Риск для людей	10	0,3	0,9	2,9	0,2	0,5

Для комплексной оценки влияния на окружающую среду всех учитываемых факторов авторами был разработан суммарный комплексный показатель воздействия на окружающую среду. При его расчете семь важнейших экологических показателей оценены по 10-балльной системе: 10 баллов – наиболее вредное воздействие (по фактической величине) и 0 баллов – отсутствие воздействия.

Полученные расчетные значения суммарного комплексного показателя воздействия на окружающую среду приведены на рис. 4 и 5.

Проведенные расчеты показателей воздействия на окружающую среду показали, что по выбросам парниковых газов 1 место по уровню воздействия занимает уголь; газ и нефть по уровню воздействия примерно на 28 % ниже; гидроэнергия, солнечная, ветряная и ядерная энергия имеют очень незначительные показатели, то есть отмечается только сопутствующее выделение парниковых газов при генерации энергии.

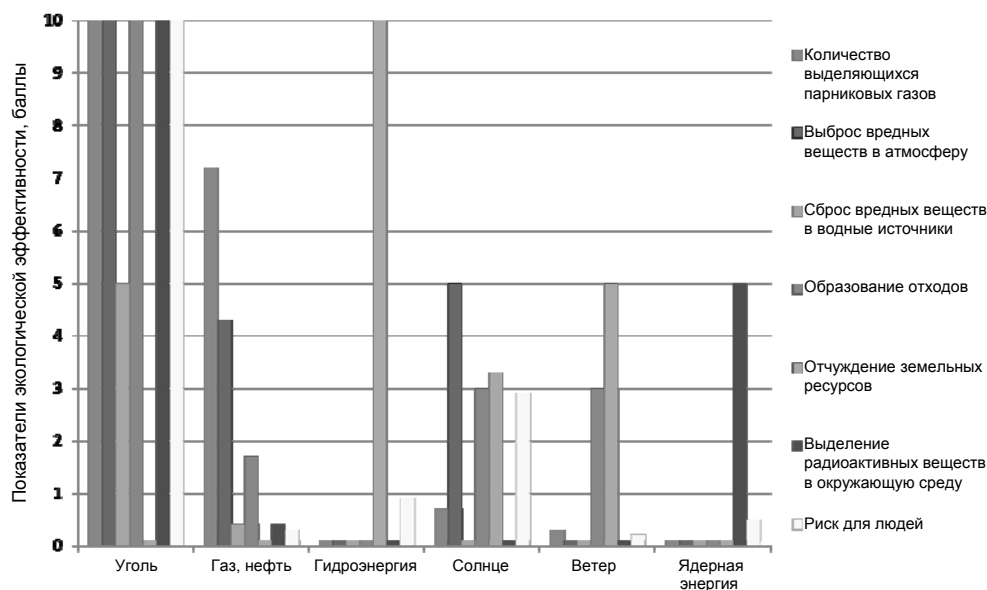


Рис. 4. Сравнительные показатели экологической эффективности различных способов производства энергии

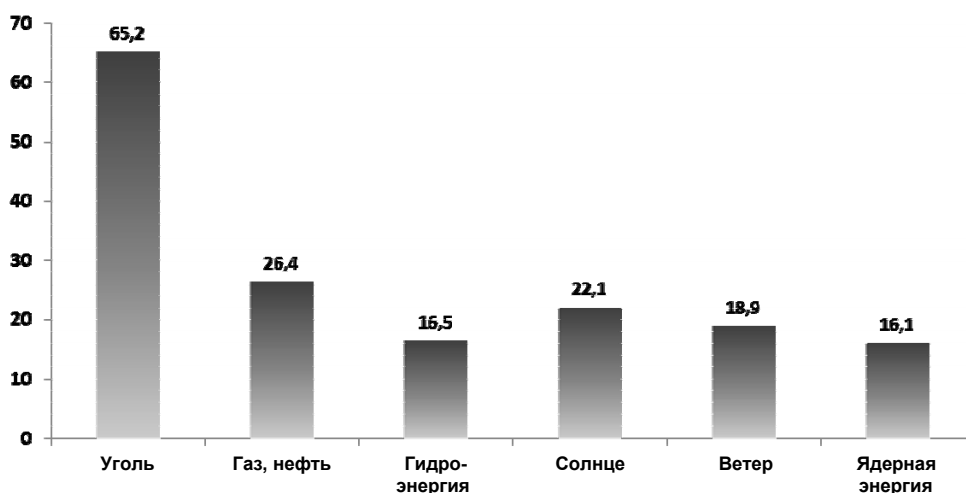


Рис. 5. Суммарный комплексный показатель вредного воздействия на окружающую среду и человека

При рассмотрении воздействия на окружающую среду по выбросам вредных веществ установлено, что наибольший выброс характерен для угля, вдвое ниже выбросы для нефти и газа, но примерно сопоставимый объем выбросов характерен при производстве и утилизации солнечных батарей. По отходам наблюдается аналогичная ситуация.

Воздействие на окружающую среду в части отчуждения земельных ресурсов в наибольшей степени характерно для гидро- и солнечной энергетики.

По выделению радиоактивных веществ в окружающую среду, казалось бы, должна лидировать ядерная энергетика, но в действительности получается, что в связи с высочайшим совершенством процессов в ней реальные выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду в штатном режиме вдвое ниже, чем при сжигании угля.

Таким образом, основываясь на сравнении экологического воздействия различных видов энергогенерации, представленного на рис. 5, можно сделать вывод, что с точки зрения как глобальных, так и локальных экологических проблем ядерная энергетика по всем показателям выглядит предпочтительнее.

Литература

Макаров А. А. Научно-технологические прогнозы развития энергетики России // Академия энергетики. 2009. № 2 (28). С. 4–12.

Родионов В. Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. М. : ЭНАС, 2010.

Фортов В. Е., Макаров А. А. Направления инновационного развития энергетики мира и России // Успехи физических наук. 2009. Т. 179. № 12. С. 1337–1353.

Россия и страны мира: стат. сб. М. : Росстат, 2012.

Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Глава I. Ст. 1.

BP Statistical Review of World Energy June 2012. N. p. : Pureprint Group Limited, 2012.

Grachev V. A., Lobkovsky V. A. Possible Environmental Impacts of Shale Gas Production in Europe Based on the International Practices of Fracking Technology Utilization // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. Vol. 12. No. 1. Pp. 253–261.

International Energy Agency. Energy Technology Perspectives. Paris : OECD/IEA, 2008.

Central Intelligence Agency. The World Factbook: [сайт]. URL: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>.