

Г.П. Сидорова, Д.А. Крылов**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В УГЛЯХ И ПРОДУКТАХ ИХ СЖИГАНИЯ**

Приведены аналитический и исследовательский материал по содержанию естественных радионуклидов в углях различных месторождений (отечественных и зарубежных) и подробные данные по исследованиям радиоактивности углей и отходов их сжигания по месторождениям Забайкалья. Отмечено, что не все угольные месторождения России содержат повышенное содержание ЕРН, но определять это необходимо уже на стадиях разведки. Если при проведении геологоразведочных работ на угольных месторождениях выявляются участки с повышенным содержанием ЕРН, то применение предлагаемой системы радиационного контроля углей на стадии отработки месторождений позволит снизить до минимума их попадание в топливный цикл и в окружающую среду.

Ключевые слова: уголь, естественные радионуклиды, уран, радиоактивность, зола, шлак, удельная активность, выбросы.

Урановая минерализация в углях была отмечена еще в 1875 г. на месторождении Олд-Лейден в США (Berthoud, 1975). К первым отечественным работам в этой области можно отнести появившуюся в Украинском химическом журнале в 1929 г. статью авторов Е.С. Буксера, Я.М. Шапира, К.Г. Бронштейна «Радиоактивность каменных углей и антрацитов Донецкого бассейна», в 1934 г. в этом же журнале была издана подобная статья и о Кузнецких углях (Е.С. Буксер и др., 1934). Исследования авторами статей были проведены на коллекциях проб угля с этих бассейнов. Первым известным отчетом в данной области исследований является отчет о радиоактивности углей Минусинского бассейна (Г.С. Лабазин, 1930). Содержание урана оценивалось в углях по данным химического анализа и среднее содержание в углях составляло $U_3O_8 - 0,001\%$. В 1940-х гг. активные работы по изучению радиоактивных элементов в углях начались в США. Целью этих работ было извлечение урана из угля и лигнитов. В 1950-х гг. на территории США было открыто не-

сколько месторождений урансодержащих углей и углистых сланцев. В это же время ряд месторождений с радиоактивными углями был открыт и в Европе (Венгрия, Югославия, Словения).

Сырьем для получения урана на начальном этапе развития отечественной атомной энергетики являлся именно уголь. Уран-угольные месторождения России, Казахстана и Киргизии были начальной минерально-сырьевой базой урановой промышленности СССР [1]. Поэтому большинство исследований этого периода посвящены высоким или рудным концентрациям урана в угле и в них отсутствуют данные о содержаниях тория.

Исследованиям радиоактивности в углях посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов. В последние годы в основных угледобывающих районах Центральной Сибири активные радиоэкологические исследования проводятся Томскими геохимиками: Л.П. Рихвановым, С.И. Арбузовым и др. А.А. Смыслов и др. (1996) считают, что Канско-Ачинский и Иркутский бассейны геохимически специализи-

рованы на уран. В настоящее время в литературных источниках освещаются данные об аномальных содержаниях урана в углях некоторых месторождений, ранее такая информация не публиковалась в открытой печати, много информации, особенно касающейся высоких концентраций урана в углях, до сих пор является закрытой.

Значительно меньше работ посвящено одному из важнейших экологических вопросов – проблеме выбросов, накопления и использования продуктов сжигания углей – зола + шлак + + газовая фаза.

Анализ литературных источников по результатам исследований угольных месторождений приводит к выводу о недостаточной изученности проблемы радиоактивности углей и крайне слабой изученности радиоэкологических проблем, связанных с добычей, транспортировкой и сжиганием углей.

Радиоактивность углей различных месторождений

Имеющиеся на сегодняшний день материалы по изучению ЕРН в углях, к сожалению, не дают полного представления о характере их распределения, формах нахождения, генезисе и уровнях накопления ни в одном из угольных бассейнов.

Среднее содержание урана (кларк) в углях, по Я.Э. Юдовичу, составляет 3,6 г/т [7, 8]. Содержание урана в большей части угольных месторождений не превышает кларкового, но имеются месторождения, в которых это содержание превышено в несколько раз. Причем месторождения эти разрабатываются без всякого радиационно-гигиенического контроля, уголь используется на ТЭС, котельных и в частных домах. Зола и шлак, обогащенные в несколько раз ЕРН, накапливаются на огромных территориях, образуя с годами, по сути, техногенные месторождения ЕРН.

Удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) в углях различных месторождений различается в $10^2 \div 10^3$ и более раз, хотя при усреднении данных по странам они становятся близкими друг к другу. Вариации пределов удельной активности урана в угольных месторождениях мира составляют $0,6 \div 3600$ Бк/кг, а при наличии в районах месторождений урановых аномалий $3,6 \div 8,4 \cdot 10^4$ Бк/кг [2].

По аналитическим исследованиям авторов статьи, удельные активности ^{226}Ra в углях разных стран следующие: угли США – ср. 22 Бк/кг; Австралии – 30–48 Бк/кг; ФРГ – ср. 26 Бк/кг; Чехословакии – 4–13 Бк/кг; Польши – 2–35 Бк/кг [3].

Радионуклидный состав углей типа антрацитовый штыб Восточного Донбасса, по проведенным в последние годы исследованиям, определяется следующими показателями: ^{238}U – ($76 \div 6$ Бк/кг); ^{226}Ra – ($34 \div 4$ Бк/кг); ^{232}Th – ($21 \div 2$ Бк/кг); ^{40}K – ($300 \div 20$ Бк/кг). Отмечается широкая вариация содержаний ЕРН в этих углях, что может быть связано с ограниченностью числа проб.

В многолетних исследованиях, проведенных учеными Томского политехнического университета, изучена геохимия радиоактивных элементов в углях месторождений и бассейнов Северной Азии (Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и Монголии). Показано, что «...содержание урана в углях месторождений и бассейнов Северной Азии изменяется от 0,6 до 32,8 г/т, а тория – от 0,8 до 32 г/т» [4]. Установлено, что средневзвешенное содержание урана в углях Сибирского региона с учетом колоссальных ресурсов Западно-Сибирского угольного бассейна составляет 1,5 г/т. Эта цифра ниже оценки угольного кларка (среднего содержания химического элемента в углях мира) и соответствует среднему геометрическому

му содержанию U в бурых углях мира. Средняя оценка содержания тория для углей Сибири составляет 2,4 г/т. Рассчитанное региональное среднее содержание тория для Сибири ниже угольного кларка, но выше среднего геометрического содержания тория в бурых углях мира. Участки высокорadioактивных углей известны в месторождениях Иркутского и Канско-Ачинского угольных бассейнов, а также в угольных месторождениях Забайкалья и Монголии.

Угли Кузнецкого бассейна характеризуются как слаборадиоактивные, но часть угольных пластов бассейна отмечаются повышенными средними содержаниями урана и тория. Даже в пластах с низкими средними встречаются участки, обогащенные радиоактивными элементами. Содержания урана в них могут существенно превышать рекомендуемые предельно допустимые концентрации для почв. Промышленное использование таких углей в качестве топлива требует тщательного изучения выбросов радиоактивных элементов при их сжигании, а использование таких шлаков и зол в хозяйственных целях должно быть ограничено [7].

Практически на всех разрезах имеются локальные участки окисленных углей. Последние требуют специального обращения, т.к. часто характеризуются аномально высокими активностями ^{226}Ra . Кроме того, например, для углей Канско-Ачинского бассейна (Березовский и Назаровский разрезы в Красноярском крае) установлены товарные угли с повышенной активностью радия. Содержание урана и тория в добываемых углях Кузбасса находится в пределах допустимых значений, за исключением угля, добываемого из шахт «Бутовская», «им. Димитрова», «им. Шевякова» и на разрезе Итатский [7].

Содержание урана в углях Итатского месторождения значительно превы-

шает значения, характерные для Кузбасса: уран – среднее – 56,9, вариации (6–139) г/т. На шахте «им. Шевякова» среднее содержание тория достигает 15,8, вариации (3,75–85,5) г/т.

Содержание урана в угле в западной части Канско-Ачинского угольного бассейна в среднем составляет 4,9 г/т [7].

В США в штате Южная Дакота обнаружили в ряде пластов лигнита (лигнит – бурый ископаемый уголь низкого сорта – наиболее молодой из ископаемых углей) аномальное содержание урана, которое достигало 1600–3200 г/т. По результатам исследований к 1958 г. на западе США были обнаружены промышленные месторождения урана в углях. На 1956 г. достоверные запасы пластов ураноносных углей с промышленным содержанием U_3O_8 на уровне 0,15–0,25% составляли в штатах Северная и Южная Дакота 300 тыс. т, а потенциальные – 400 тыс. т [7].

В 1993–1997 гг. Институтом промышленной технологии Минатома России совместно с Институтом горного дела им. А.А. Сковородина были выполнены радиационные обследования российских угольных шахт. По результатам этих обследований было показано, что в шахтах радиационная опасность обусловлена выделением ^{222}Rn в воздушное пространство, присутствием ^{226}Ra и ^{228}Ra в углях и вмещающих породах [9]. Установлено, что на 24% из 159 обследованных шахт значения эффективной дозы облучения отдельных работников достигают установленного нормами радиационной безопасности (НРБ-99) предела 5 мЗв/год. Средняя по отрасли доза облучения подземного персонала близка к 2 мЗв/год, что приводит к увеличению примерно на 15% общего риска смерти, связанного с добычей угля. На 14 шахтах дозы облучения на отдельных рабочих местах

превышают 5 м^3 /год, что по законодательству требует введения режима радиационной безопасности.

Примером отработки углей с повышенным содержанием ЕРН может служить многолетний опыт, применяемый при добыче углей Уртуйского месторождения. Геологоразведку Уртуйского угольного месторождения проводило геологическое объединение, специализирующееся на поисках и разведке радиоактивного сырья.

Промышленное освоение Уртуйского месторождения начато в 1986 г. Приаргунским производственным горно-химическим объединением (ОАО «ППГХО») – крупнейшим уранодобывающим предприятием России, что обусловило профессиональный подход к вопросам радиационной безопасности как при разведке и добыче угля, так и при его использовании. Накопленный опыт обозначил проблемы, связанные с обеспечением радиационной безопасности персонала и населения, а также пути их решения. За основу были приняты требования норм радиационной безопасности о непревышении дозы облучения населения 1 м^3 /год (на человека) и активности золошлаковых отходов (ЗШО), которые могут использоваться в строительных целях в населенном пункте, не более 370 Бк/кг. Специалисты в обоснованиях использования уртуйских углей учитывали условия их сжигания на Краснокаменской ТЭЦ, входящей в ППГХО, и в бытовых печах, рассеяние выбрасываемых с продуктами сжигания радионуклидов, закономерности поступления радиоактивных веществ по ингаляционной и пищевой цепочкам в организмы животных и человека. На основе расчетов определены зависимости для определения дозы облучения человека и предельные нормы выбросов радиоактивных веществ в зависимости от содержания ЕРН в углях. Результаты исследований

получили положительные заключения Института биофизики, НИИ радиационной гигиены и Федерального Управления медико-биологических проблем при Минздраве РФ и стали основой организации системы контроля качества угля по радиационно-гигиеническому фактору [5, 6].

Особенностью углей Уртуйского месторождения являются весьма существенные изменения содержаний в них ЕРН (более чем в 100 раз), что обусловлено особенностями их накопления и перераспределения в процессе формирования угольного месторождения. Уртуйские угли по содержанию урана разделены на 3 сорта:

- 1 сорт (потребительские угли) – с содержанием урана менее 0,001% (с удельной активностью до 123 Бк/кг);
- 2 сорт (энергетические угли) – с содержанием урана 0,001–0,01% (с удельной активностью 123–1230 Бк/кг);
- 3 сорт (комплексные угли) с содержанием урана более 0,01% (с удельной активностью более 1230 Бк/кг) [2, 3].

Угли 1-го сорта можно использовать в бытовых целях. Радиоактивность золы и шлака, образующиеся при сжигании угля 1-го сорта не превышает допустимых значений активности строительных материалов, разрешенных нормами радиационной безопасности для населенных пунктов. Такой уголь сертифицирован региональным центром Санэпиднадзора. Активность такого угля составляет в среднем 77,5 Бк/кг. При сжигании такого угля образуются ЗШО активностью 327 Бк/кг, которые по классификации относятся к строительному материалу 1-го класса, разрешены для применения в зонах перспективной застройки в населенных пунктах [6].

Угли 2-го сорта можно использовать на ТЭС. Уровень радиоактивности золы и шлака, образующиеся при сжигании этих углей соответствует



Контроль автосамосвалов с углем на РКС разреза «Уртуйский»

активности строительных материалов 2-го и 3-го класса, применение которого ограничено санитарными нормами. На предприятии их хранение осуществляется в золошлакохранилище, а применение разрешено только по решению санитарно-эпидемиологического надзора и только в качестве материала для закладки выработанного пространства при добыче урановых руд подземным способом.

При сжигании комплексных углей 3-го сорта, образующиеся зола и шлак имеют активность, при которой использование их недопустимо в строительных целях [6].

До 1995 г. в специальных отвалах с прикрытием их поверхности инертным материалом из вскрышных пород было заскладировано 750 тыс. т углей 3-го сорта. При сжигании этого угля могло бы образоваться более 100 тыс. т золы и шлака. Такой материал классифицируют как низко радиоактивные отходы, требующие специальных условий хранения (захоронения).

На Уртуйском угольном разрезе создан пункт управления качеством угля по типу автомобильной радиометрической контрольной станции для сортировки урановых руд. Через опытный пункт пропускают все без исключения углевозы, что позволяет сортировать уголь по радиационно-гигиеническому фактору (рисунок).

Кроме радиометрической контрольной станции, в систему геофизического контроля качества угля вошли гамма-опробование забоев экскаваторов и штабелей угля, а также гамма-каротаж эксплуатационно-разведочных скважин. Все применяемые на разрезе методы контроля радиационно-гигиенического качества угля, позволяют полностью исключить превышение содержаний ЕРН в отгружаемом потребителям угле.

Радиоактивность продуктов сжигания углей

При изучении радиационной обстановки вокруг ТЭС главным является исследование распространения в атмосферном воздухе ЕРН, выбрасываемых с летучей золой из труб ТЭС и осаждающихся затем на земную поверхность. Большая часть выпавшей на земную поверхность золы оседает на надземной части растений и в конечном итоге попадает в почву. Кроме того, значительный вклад в радиоактивное загрязнение окружающей среды может дать эффект удержания золы и аэрозолей кронами деревьев в лесных массивах (до 5 раз).

Авторами были проанализированы результаты сжигания углей энергетического сорта на Краснокаменской ТЭЦ за период 2005–2010 гг. (таблица).

В процессе сжигания все твердые отходы ТЭЦ можно разделить на: шлак + тяжелая фракция золы; летучая зола – унос, которую, в свою очередь, можно разделить на фракцию средней крупности, улавливаемую электрофильтрами и тонкодисперсную фракцию золы – унос, не улавливаемую фильтрами. Учитывая характеристики фильтров и реальную их эффективность, степень улавливания золы – унос составляет 95%, т.е. 5% золы – унос ежегодно выбрасывается в атмосферу.

В результате расчета баланса урана установлено, что основным источ-

Баланс урана в продуктах сжигания Краснокаменской ТЭЦ

Год	Зольность, %	Поставка угля на ТЭЦ				Шлак + тяжелая фракция золы				Зола-унос на фильтрах				Зола-унос в атмосферу				Итого отходы ТЭЦ				Обогащение урана, л.ед.	Доля отходов ТЭЦ, %
		угольная масса, т	сухой уголь, т	U, %	U, т	Шлак + зола, т	сод. U, %	U, т	зола, т	сод. U, %	U, т	зола, т	сод. U, %	U, т	шлак + зола, т	сод. U, %	U, т						
2005	13,4	32	1 398 771	951 164	0,0017	16,2	119 054	0,0068	8,1	54 425	0,0085	4,6	2864	0,1204	3,4	176 343	0,0092	16,2	5,4	13,5			
2006	14,4	29	1 484 623	1 054 082	0,0021	22,1	124 466	0,0084	10,5	65 530	0,0122	8,0	3449	0,0845	2,9	193 445	0,0114	22,1	5,4	14,1			
2007	14,4	31	1 528 565	1 054 710	0,0013	13,7	150 131	0,0052	7,8	68 065	0,0052	3,5	3582	0,0660	2,4	221 778	0,0062	13,7	4,8	15,2			
2008	13,5	33	1 473 248	987 076	0,0008	7,9	106 505	0,0024	2,6	65 092	0,0040	2,6	3426	0,0799	2,7	175 023	0,0045	7,9	5,6	13,8			
2009	15,2	28	1 490 457	1 073 129	0,0009	9,7	126 046	0,0036	4,5	50 519	0,0054	2,7	2 659	0,0900	2,4	179 223	0,0054	9,7	6,0	13,6			
2010	14,1	31	1 642 562	1 133 368	0,0009	10,2	140 959	0,0036	5,1	46 703	0,0054	2,5	2458	0,1059	2,6	190 120	0,0054	10,2	6,0	14,8			
Всего	14,2	31	9 018 226	6 253 529	0,0013	81,3	789 161	0,0052	41,0	336 000	0,0078	26,2	17 684	0,0931	16,5	1 142 845	0,0073	83,3	5,6	14,3			

ником загрязнения окружающей среды при сжигании бурых углей с повышенным содержанием радиоактивных элементов является тонкодисперсная составляющая золы – унос, практически не улавливаемая электрофильтрами, что подтверждается исследованиями и других авторов.

Радионуклиды, поступающие в воздух из дымовых труб ТЭС, попав в атмосферу, рассеиваются, образуя сложное объемное поле, в пределах которого концентрация вещества уменьшается от максимума у выхода из трубы до минимального (фоновых для данного района) значений.

Исследования, проведенные во многих странах, показали, что радиоактивность почв и воздуха на территориях, прилегающих к ТЭС, порой в десятки раз превышает не только фоновые, но даже предельно допустимые значения. Многое зависит при этом от того, какой именно уголь использует конкретная ТЭС, к тому же очень многое зависит от технологии подготовки угля и технологии его сжигания.

По литературным данным, при среднем содержании урана в земной коре – 2,0 г/т, среднее содержание урана в богатых золах достигает 400 г/т.

В работе Н.А. Белюсено и А.А. Соловьянова «Принципы программного обеспечения радиационно-экологической безопасности на объектах ТЭК России» приведены сведения о том, что загрязненность золошлаковых от-

ходов естественными радионуклидами на отдельных российских ТЭС (исследовались около 50 ТЭС, на которых использовались 20 видов углей), при сжигании некоторых углей, например, подмосковных и азейских, повышена и достигает 520 Бк/кг при нормативе их бесконтрольного использования в строительстве 370 Бк/кг [10].

Анализ результатов исследования показывает, что при сжигании углей даже с низкими концентрациями радиоактивных элементов в их продуктах сжигания содержание урана и тория обычно увеличивается в 3–4 раза по отношению к исходному топливу. Например, при сжигании кузнецких углей в их золах происходит концентрирование радиоактивных элементов. Коэффициент концентрации для урана и тория колеблется от 1,5–2 до 10–15 и зависит от полноты озоления угля, марочного состава и зольности угля.

На основании анализа литературных источников по результатам исследований угольных месторождений, радиационных выбросов от угольных ТЭС, использующих угли различных месторождений, в том числе и Забайкальских авторами отмечается недостаточность изученности проблемы радиоактивности углей и крайне слабой изученности радиозэкологических проблем, связанных с добычей, транспортировкой и сжиганием углей, как в России, так и за рубежом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кизильштейн Л.Я. Уголь и радиоактивность // Химия и жизнь. – 2006. – № 2. – С. 24–29.

2. Давыдов М.Г. Радиозэкология [Электронный ресурс] // Радиоактивность литосферы, <http://www.phys.rsu.ru/web/nuclear/radiologie/fIRE6.htm>

3. Овейчук В.А., Крылов Д.А., Сидорова Г.П. Радиоактивные элементы в углях и продуктах их сжигания // Атомная стратегия. – 2013. – Март. – С. 12–14.

4. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А. и др. Изучение потерь радиоактивных элементов при озолении угля и прогнозирование их выбросов в атмосферу / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. – Томск: Изд-во ТПУ, 1996. – С. 306–308.

5. Суханов Р.А., Сидорова Г.П. Проблемы использования углей с повышенной радиоактивностью // Горный журнал. – 2009. – № 2. – С. 43–45.

6. Сидорова Г.П. Радиационно-гигиеническое качество углей Уртуйского месторождения: экологические проблемы и методы решения // Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 26–28.

7. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Уран в углях. – Сыктывкар, 2001. – 48 с.

8. Давыдов М.Г., Тимонина Ю.А. Радиационная обстановка в районе расположения ГРЭС Ростовской области // Теплоэнергетика. – 2003. – № 12. – С. 8–13.

9. Павлов И.В. Радиационная опасность для населения и производственного персонала, связанная с эксплуатацией объектов

топливно-энергетического комплекса (материалы слушаний «Об обеспечении радиационно-экологической безопасности в топливно-энергетическом комплексе России», проведенных 17 июня 1997 г. в Комитете по экологии Государственной Думы) // Бюллетень Центра общественной информации по атомной энергии. – 1997. – № 9. – С. 28–30.

10. Белюсенок Н.А., Соловьянов А.А. Принципы программного обеспечения радиационно-экологической безопасности на объектах ТЭК России // Безопасность труда в промышленности. – 1996. – № 1. – С. 30–34. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Крылов Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 123182, Москва, e-mail: krylova.vep@yandex.ru,

Сидорова Галина Петровна – кандидат технических наук, доцент, Забайкальский государственный университет, 372030, Чита, e-mail: druja@inbox.ru.

UDC 621.039.7

EVALUATION OF THE CONTENT OF RADIOACTIVE ELEMENTS IN COALS AND PRODUCTS OF COMBUSTION

Krylov D.A., Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, e-mail: krylova.vep@yandex.ru, National Research Center «Kurchatov Institute», 123182, Moscow, Russia,

Sidorova G.P., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: druja@inbox.ru, Transbaikal State University, 372030, Chita, Russia.

In the article the author gives an extensive analytical and research material content of natural radionuclides in coals deposits is different both domestic and foreign. Provides details on the study of radioactivity of coal and waste incineration on deposits of Transbaikalia. The authors note that not all coal deposits contain Russia rose-content NRN in progress, but it is necessary to determine at the time of exploration. If during exploration for coal deposits identified areas with high concentration of ERN, the application of the proposed system of radiation monitoring at the stage of coal mining deposits will reduce to a minimum the hit in the fuel cycle and the environment. Radiation hazard coal plants due to natural radionuclide-E contained in coals – one of the most important problems of coal power, which is sometimes overlooked in the modern world, but it requires the utmost attention. Sources of pollution are thermal power plant air emissions, liquid effluents and solid waste left after burning coal: ash and slag.

Key words: coal, natural radionuclides uranium radioactivity, ash, slag, the specific activity of emissions.

REFERENCES

1. Kizil'shteyn L.Ya. *Khimiya i zhizn'*. 2006, no 2, pp. 24–29.
2. Davydov M.G. *Radioekologiya. Radioaktivnost' litosfery*, <http://www.phys.rsu.ru/web/nuclear/radiologie/FRE6.htm>
3. Oveychuk V.A., Krylov D.A., Sidorova G.P. *Atomnaya strategiya*. 2013, March, pp. 12–14.
4. Arbuzov S.I., Ershov V.V., Potseluev A.A. *Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka* (Radioactivity and radioactive elements in the human environment), Tomsk, Izd-vo TPU, 1996, pp. 306–308.
5. Sukhanov R.A., Sidorova G.P. *Gornyy zhurnal*. 2009, no 2, pp. 43–45.
6. Sidorova G.P. *Gornyy zhurnal*. 2012, no 8, pp. 26–28.
7. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. *Uran v uglyakh* (Uranus in coal), Syktывkar, 2001, 48 p.
8. Davydov M.G., Timonina Yu.A. *Teploenergetika*. 2003, no 12, pp. 8–13.
9. Pavlov I.V. *Byulleten' Tsentra obshchestvennoy informatsii po atomnoy energii*. 1997, no 9, pp. 28–30.
10. Belyusenko N.A., Solov'yanov A.A. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 1996, no 1, pp. 30–34.