

# Уголь и радиоактивность

Доктор геолого-минералогических наук  
**Л. Я. Кизильштейн,**  
Ростовский государственный  
университет

*Что общего у угля и радиоактивности?*

*Ответ вроде бы напрашивается сам собой: и то и другое служит источником энергии, необходимой для развития современной цивилизации. Есть, однако, между полезным ископаемым и физическим явлением непосредственная, прямая связь, которая мало известна. О ней и пойдет речь в статье.*

## Геохимия ископаемого топлива

Ископаемый уголь — удивительная горная порода, сложенная почти целиком из геологически измененных тканей древних растений. В осадочных породах ископаемые растительные остатки совсем не редкость, но, для того чтобы их можно было назвать угольным месторождением, они должны формировать скопления — угольные пласты, представляющие собой огромные плитообразные или линзовидные образования, промышленная разработка которых экономически целесообразна.

Высшие растения появились на суше примерно 350 миллионов лет назад, и почти сразу же (по геологическим меркам) их отмершие остатки стали накапливаться, дав начало современным залежам каменного угля. Происходило это в девонском периоде палеозойской эры, а до того на протяжении примерно трех миллиардов лет жизнь была лишь на просторах Мирового океана.

Бактерии и водоросли, населявшие водную стихию в то время, тоже изредка образовывали довольно крупные скопления, давая начало породам, очень похожим на угольные пласты. Такие скопления, геологический возраст которых превышает миллиард лет, обнаружены, например, в Карелии; они получили название шунгитов. У этой ископаемой органики, происходящей из низших форм жизни, есть свои особенности: несмотря на большое внешнее сходство с углем, шунгит не горит (впрочем, не горит при обычных условиях и графит, состоящий почти целиком из уг-



лерода органического происхождения), но шунгиты — это тема отдельной статьи. Нас же интересует уголь.

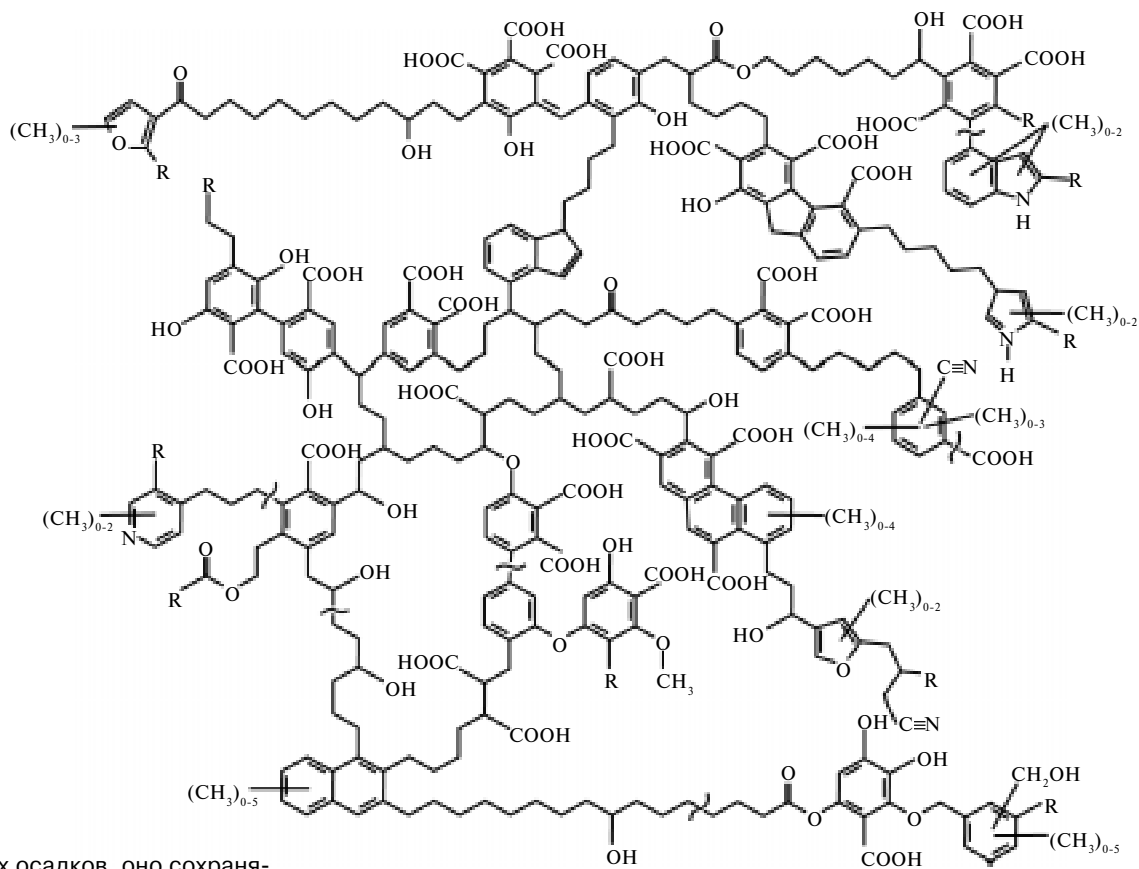
Органическое вещество устойчивостью не отличается: крупные углеродсодержащие молекулы — лакомый кусок для вездесущих микроорганизмов. Как только растение или животное прекращает свою жизнедеятельность (умирает), вещество, слагающее его, подвергается мощной атаке микробов и быстро (по геологическим масштабам мгновенно) распадается на простые органические соединения. Год - два, ну, в крайнем случае, пара десятилетий, и от бывшего организма практически ничего не остается.

Откуда же в недрах Земли столько ископаемой органики? Каким чудом избежало распада органическое вещество, давшее начало месторождениям угля, нефти, природного газа? Никакого чуда, конечно же, нет — все дело в том, что при дефиците свободного кислорода разрушительная деятельность микроорганизмов резко замедляется. Природную обстановку такого рода называют в геохимии восстановительной — время от времени она воз-

никала на тех или иных участках суши или моря во все геологические эпохи. Бактерии, живущие за счет «готового» органического вещества при достаточном количестве кислорода в среде, называются аэробными гетеротрофами. В отсутствие кислорода они не могут окислять (усваивать) органическое вещество, а значит, не могут строить свое тело. И тут уже не важно, что вокруг сколько угодно органики, которую эти микроскопические существа могли бы с успехом использовать.

В природных условиях ограниченный доступ кислорода — специфическая особенность малоподвижных водных сред. Если содержание кислорода в атмосферном воздухе составляет в среднем 20,9% (по объему), то в стоячей воде его не более 3–4%. Такие условия характерны для болот, донных отложений озер и лагун. Из разрушителей органики здесь могут жить только анаэробные сапрофиты, но их активность и численность ничтожна по сравнению с аэробами.

Если же органическое вещество оказывается захороненным под толщей вновь отлагающегося торфа или

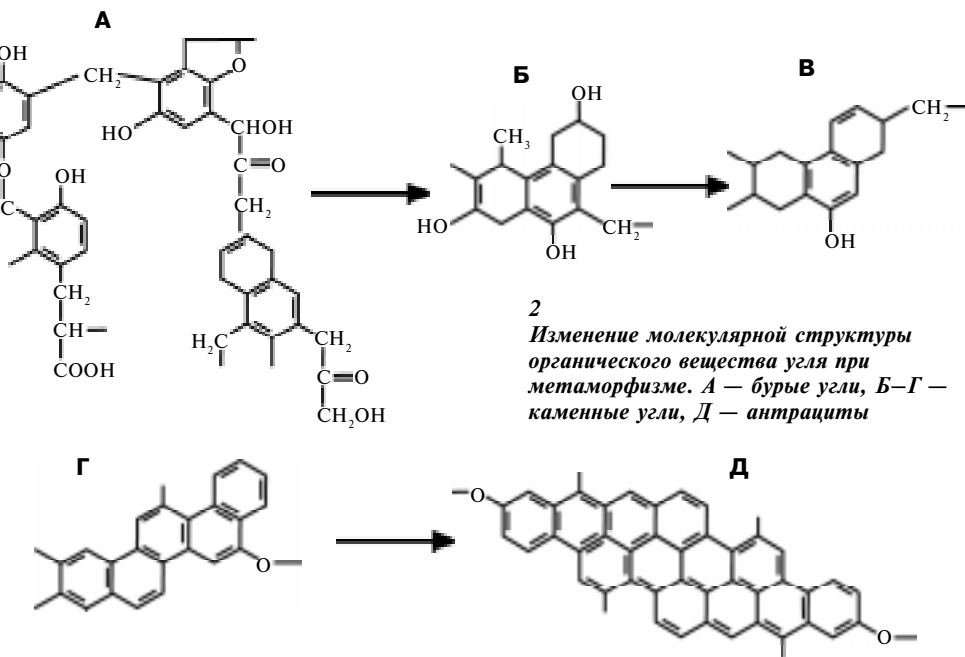


1  
Структура  
молекулы  
гуминовой  
кислоты

донных осадков, оно сохраняется еще лучше. Подобные ситуации возникали в геологическом прошлом неоднократно: при тектоническом опускании земной коры минеральное вещество смывается с суши и покрывает органические остатки на дне водоемов толстым слоем, практически непроницаемым для кислорода. Закономерности тектонических движений земной коры и связанное с этим образование осадочных горных пород — фундаментальные разделы современной геологии, без которых невозможно понять в том числе и закономерности образования месторождений полезных ископаемых.

Органическое вещество донных отложений — это в основном продукты разложения бактерий и водорослей. Под воздействием геологических процессов из него могут получиться нефть, природный газ или горючие сланцы. Из такого же материала в свое время образовался шунгит. А вот органика болот (торф) образуется из высших растений. Геологическая перспектива в этом случае — ископаемый уголь.

Итак, уголь начинается с торфа. После того как сформировавшийся пласт покрывается слоем минеральной породы, он вместе с нею постепенно погружается в глубины земной коры и там подвергается воздействию все возрастающих температур и дав-



2  
Изменение молекулярной структуры  
органического вещества угля при  
метаморфизме. А — бурые угли, Б—Г —  
каменные угли, Д — антрациты

лений. То, что происходит затем, называется углефикацией, или метаморфизмом. В начале торф становится бурым углем, затем — каменным и в конечном итоге антрацитом. Для образования антрацита органическое вещество должно погрузиться вглубь на 8–10 километров, где оно подвергается воздействию температур, достигающих 300–350°C, и давлений в несколько сотен атмосфер. Но поскольк не во всех геологических ре-

гионах тектонические процессы способствуют погружению на такие большие глубины, метаморфизм может остановиться на любой стадии. Существуют буроугольные бассейны (Подмосковный, Канско-Ачинский), каменноугольные (Кузбасс) или преимущественно антрацитовые (Восточный Донбасс).

При трансформации торфа в антрацит через ряд промежуточных стадий химический состав угля меняет-

ся: содержание углерода увеличивается с 50 до 98%, водорода — снижается с 6 до 1,5%, а кислорода — с 25 до нескольких процентов.

Торф представляет собой сложную смесь органических соединений, появившихся в результате переработки вещества высших растений микробами. Однако наиболее характерная его составляющая — это гуминовая кислота, образующаяся из целлюлозы и лигнина. Ее структура показана на рис. 1.

Обратите внимание на характерную особенность молекулы: в ее основе лежат бензольные (ароматические) кольца, соединенные друг с другом или непосредственно, или через промежуточные алифатические связи (мостики). В процессе метаморфизма эти промежуточные связи постепенно утрачиваются, а значит, возрастает относительная доля бензольных колец, связанных друг с другом без посредников. На стадии антрацита уже почти все бензольные кольца связаны напрямую, а в графите, который может получиться из угля при воздействии на него высокотемпературных магматических пород, промежуточных связей нет совсем. На рис. 2 показана (разумеется, с большими упрощениями) схема изменения молекулярной структуры углей при метаморфизме от бурых и каменных до антрацитов.

Многие химические и физические свойства углей сильнее зависят не от ароматического каркаса, а от групп атомов, присоединенных к бензольным кольцам (так называемых функциональных групп). Эти группы весьма разнообразны: среди них встречаются карбоксильные (COOH), гидроксильные (OH), метоксильные (OCH<sub>3</sub>) и другие (см. рис. 1). Функциональные группы находятся в основном при атомах углерода бензольных колец, но иногда бывают связаны и с атомами углерода алифатических мостиков.

Для нас наиболее важно то, что водород функциональных групп может быть замещен ионами металлов. В гуминовых кислотах концентрация функциональных групп максимальна. С переходом торфа в бурые угли их содержание заметно снижается, а в антрацитах они пропадают совсем (рис. 2). Таким образом, торф в рассматриваемой цепочке превращений оказывается наиболее активной химической средой, в которой протекают реакции, приводящие к концентрированию металлов, в том числе радиоактивных.

Учитывая все сказанное, становится понятным, почему геологи и геохимики почти единогласно считают, что накопление металлов в углях происходило в основном именно на торфяной стадии углеобразования. В

пользу этой гипотезы они приводят не только геохимические аргументы: в то время, когда угольный пласт был еще торфом, он представлял собой открытую систему, в которую с поверхностными и грунтовыми водами могли свободно поступать самые разные химические элементы, в том числе радионуклиды. Позднее, когда торфяник переходил в ископаемое состояние, связь с внешней средой постепенно сходилась на нет.

## Радиоактивные элементы — уран и торий — в ископаемых углях

Напомним, что радиоактивность — это способность химических элементов (иногда только некоторых их изотопов) самопроизвольно излучать  $\alpha$ -,  $\beta$ -частицы и/или  $\gamma$ -кванты (рис. 3). В настоящее время известно множество природных радиоактивных изотопов разных химических элементов. В горных породах наиболее распространены радиоактивные изотопы урана (<sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>234</sup>U), тория (в основном — <sup>232</sup>Th) и калия (<sup>40</sup>K). Но поскольку содержание <sup>40</sup>K в природном элементе составляет всего 0,0118% и калий постоянно выводится из организма в процессах жизнедеятельности (то есть не накапливается), его обычно не считают опасным. С торием и ураном дело обстоит иначе.

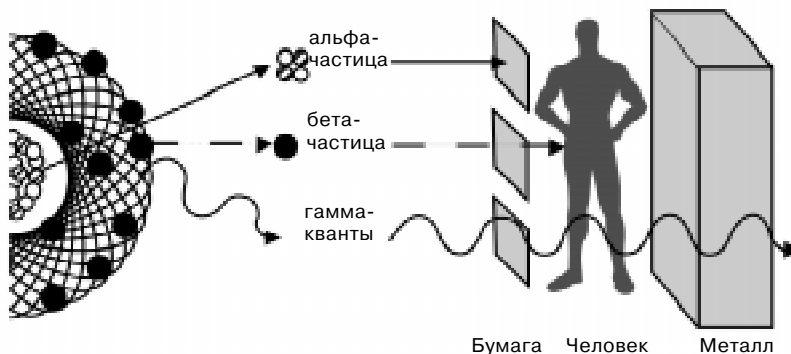
Уран был открыт в 1789 году немецким химиком М.Г.Клапротом. Долгое время его соли и окислы использовали в качестве красителей в керамической и стекольной промышленности, позже они нашли применение при изготовлении светящихся стрелок часов и других приборов. Лишь после того, как в 1896 году А.Беккерель открыл явление радиоактивности, началось активное изучение урана (Пьером и Марией Кюри). А с 1945 года, когда началась эпоха атомного оружия, по меткому замечанию известного отечественного геохимика Я.Э.Юдовича, «из элемента № 92 в Менделеевской таблице уран для геохимиков большин-

ства развитых стран внезапно превратился в элемент № 1».

В углях уран был обнаружен еще 1875 году, и в начале атомной эпохи в нашей стране его извлекали большей частью именно из угля. Среднее содержание урана в углях («угольный кларк», по Я.Э.Юдовичу) составляет 3,6 г/т. Природный уран представляет собой смесь трех изотопов в следующих пропорциях: <sup>238</sup>U — 99,282%, <sup>235</sup>U — 0,712%, <sup>234</sup>U — 0,006%. Это химически активный элемент, в соединениях он представлен ионами со степенью окисления +3, +4, +5, +6. Наиболее устойчиво его валентное состояние U<sup>6+</sup> в составе иона уранила UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>, который имеет исключительную способность к комплексообразованию, причем как с органическими, так и с неорганическими соединениями. В составе углей большая часть урана связана с кислородом функциональных групп в гуминовых кислотах.

Относительно высокое содержание урана в воде возникает в тех случаях, когда потоки размывают породы с повышенным содержанием этого элемента. Если такие воды питают торфяники, то содержание урана в торфе иногда превышает 0,1 г/л, а это больше средних значений для речных вод на целых пять порядков. Есть данные о том, что концентрация урана в одном из торфяников Швеции достигла даже 3% в сухом веществе, что всерьез обеспокоило власти, поскольку этот торф использовали в качестве бытового топлива. Впрочем, и это не предел: в лабораторных экспериментах удалось достигнуть 10%-ной концентрации урана в торфе.

Повышенные концентрации урана в торфяниках острова Мадагаскар были обнаружены еще в 1913 году. Познакомившись с этими данными, В.И.Вернадский пришел к заключению, что природное органическое вещество играет исключительно важную роль в геохимии данного элемента. Впоследствии это предположение подтвердилось. Эксперименты с гуминовыми кислотами показали, что



уран связывается преимущественно с гидроксильными, карбоксильными и карбонильными функциональными группами. Возникающая при этом связь гуминовая кислота — U относится к координационным (донорно-акцепторным).

В процессе метаморфизма часть функциональных групп, имеющих в органическом веществе торфа, теряется, а следовательно, образующийся уголь утрачивает и часть урана, накопленного на торфяной стадии. Именно поэтому «рудные» концентрации данного элемента в каменных углях и антрацитах не обнаружены.

В природных условиях уголь довольно часто окисляется. С одной стороны, это ухудшает его качество как топлива, но, с другой стороны, при окислении в органическом веществе возрастает число функциональных групп — происходит, как говорят углехимики, регенерация гуминовых кислот. Вследствие этого возрождается способность угля к химическим взаимодействиям, и если в подземных водах (речь идет о событиях в недрах) есть растворенный уран, то происходит его вторичное накопление в угле, иногда даже в промышленных концентрациях. Именно так образовались уран-угольные месторождения России, Казахстана и Киргизии, ставшие начальной минерально-сырьевой базой урановой промышленности СССР. Крупные месторождения ураноносных углей такого же происхождения обнаружены в США и других странах.

Торий — химический элемент, названный именем одного из богов скандинавской мифологии. Он был открыт в 1828 году И.Берцелиусом. Природный торий представлен в основном изотопом  $^{232}\text{Th}$  (почти 100%). Угольный кларк элемента в ископаемых углях — 4,2 г/т. Торий применяют в электронной и электротехнической промышленности как катализатор в процессах органического синтеза, а также для легирования магниевых сплавов, используемых в ракетной и авиационной технике. Торий считается перспективным ядерным топливом, поскольку он может участвовать в цепной реакции деления. Именно из сплава тория с обогащенным ураном изготавливают топливные элементы АЭС.

В отличие от урана, связанного с органическим веществом угля химическими связями, торий входит преимущественно в состав глинистых минералов. Доля тория, химически связанная с органическим веществом, обычно незначительна, и случаи его накопления в зонах окисления угольных пластов не известны.

Такова в общих чертах геохимия

урана и тория, объясняющая появление этих радиоактивных элементов в ископаемых углях.

## Немного о радиационной безопасности

Итак, в составе ископаемых углей достаточно часто присутствуют радиоактивные элементы, а между тем большую часть угля, добываемого в мире (свыше 4 млрд. тонн), человечество использует в качестве топлива. Как это влияет на радиационную обстановку?

Радиоактивность любого изотопа характеризуют числом распадов атомов в секунду. Единица радиоактивности получила название беккерель (Бк), а радиоактивность, отнесенную к массе радиоактивного вещества, называют соответственно удельной радиоактивностью (Бк/кг). Для  $^{232}\text{Th}$  она составляет  $4,03 \times 10^6$  Бк/кг, а для  $^{238}\text{U}$  —  $1,23 \times 10^7$  Бк/кг.

Когда же речь идет о содержании радионуклида в воде или воздухе, используют такие единицы измерения, как Бк/л или Бк/м<sup>3</sup>. Именно в таком виде представлены международные и российские нормы радиационной безопасности для природных сред. Согласно нормативам, допустимые концентрации радионуклидов в атмосферном воздухе не должны превышать для  $^{232}\text{Th}$  —  $9,3 \times 10^{-7}$  Бк/л, а для  $^{238}\text{U}$  —  $8,1 \times 10^{-5}$  Бк/л.

Обратим внимание на то, что допустимая концентрация для тория более чем в 100 раз ниже, чем для урана. Это объясняется тем, что опасность облучения определяется не только его дозой (энергией, поглощенной тканями), но и путями поступления радионуклидов в организм, скоростью их распада и выведения. Облучение людей особенно опасно, когда радионуклиды вместе с пищей или вдыхаемым воздухом попадают внутрь; тогда при прочих равных условиях особое значение приобретает скорость их выведения.

Между тем установлено, что почти весь торий, поступивший в организм с атмосферным воздухом, накапливается в костях скелета и костном мозге. Период его биологического полувыведения (то есть уменьшение содержания элемента на 50% после однократного поступления) составляет десятки лет. (В опытах на животных — более 60 лет.) Уран тоже концентрируется в костях, а кроме того, в легких, но выводится он из скелета заметно быстрее — его содержание уменьшается вдвое за 450 суток.

Нельзя, конечно, сказать, что радиация для живого — это нечто совершенно чужеродное. Жизнь на Земле



## ВЕЩИ И ВЕЩЕСТВА

возникла и развивалась в поле радиации, создаваемой космическим излучением и радионуклидами, содержащимися в породах земной коры. Более того, на заре жизни радиоактивность горных пород была значительно выше, чем сейчас: в ту пору в них присутствовали такие радиоактивные изотопы, как  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{205}\text{Pb}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{244}\text{Pu}$  и некоторые другие. Ныне этих радионуклидов в природе не осталось — они попросту распались. Ведь наша планета существует четыре с половиной миллиарда лет, а период полураспада перечисленных изотопов — «все-то» десятки миллионов. А вот торий и уран полностью распастись не успели (хотя их количество сильно уменьшилось): их периоды полураспада очень велики — для  $^{232}\text{Th}$  он составляет  $14 \times 10^9$  лет, а для  $^{238}\text{U}$  —  $4,5 \times 10^9$ .

Так что живому не оставалось ничего другого, как приспособиться к высокому радиационному фону. Радиобиологи и генетики хорошо знают, что облучение в некотором диапазоне может оказывать стимулирующее действие: ускоряется рост растений и животных, увеличивается биомасса, повышается устойчивость живого к неблагоприятным внешним воздействиям. Естественная радиоактивность влияла на темпы мутирования организмов, а значит, способствовала появлению полезных признаков, закрепившихся в процессе эволюции.

И все-таки, даже если оценивать роль радиации в эволюции как положительную, конкретному организму она обычно наносит ощутимый вред: все прекрасно знают, к примеру, что высокий радиационный фон способствует возникновению злокачественных опухолей. Между тем начиная со второй половины XX века к естественному радиационному фону добавилась искусственная радиоактивность: испытания и использование атомного оружия, развитие атомной энергетики, применение многочисленных методов медицинской диагностики и технических устройств, в которых использованы радиоактивные вещества, — все это привело к тому, что нагрузка на организм человека воз-



росла более чем вдвое.

Среднегодовые эффективные эквивалентные дозы облучения населения на территории СССР равнялись в 1981–1985 годах 5090 мкЗв (1 Зв = 1 Дж/кг; в зивертах измеряют дозу радиации, поглощенную тканями организма с учетом их чувствительности к данному виду излучения —  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$ ). При этом вклад естественного радиационного фона, как видно из таблицы, составил только 2250 мкЗв.

Обратите внимание: хотя в целом вклад энергетики в создание искусственного радиационного фона не так уж велик, ТЭС загрязняют окружающую среду радионуклидами в 12 раз (!) больше, чем атомные электростанции (если, конечно, эти последние работают без аварий). Кроме того, радиационную безопасность угольных электростанций систематически не контролируют, а ведь выбросы радиоактивных веществ в составе дыма концентрируются на сравнительно небольших площадях — квадратные километры или десятки километров. Это важно помнить, оценивая их «скромный» вклад в общую дозу облучения людей, живущих поблизости.

## Угольная энергетика и радиоактивное загрязнение

Итак, в условиях нормальной работы АЭС оказываются экологичнее тепловых электростанций даже в отношении радиационной безопасности. Если же учесть, что угольные электростанции загрязняют атмосферу еще и токсичными оксидами серы, азота, углерода, а также твердыми частицами, то перспективы расширенного использования этого вида топлива становятся совсем не радужными.

Положение не спасает и то, что в целом вклад электростанций в радиационный фон, как мы уже отмечали, не так уж велик. Формальные оценки создают в этом случае обманчивое впечатление отсутствия проблемы. Невольно приходит на ум банальный, но выразительный пример со средней температурой пациентов в больнице: как будто бы все благополучно, а на

самом деле некоторые пациенты находятся в критическом состоянии. В качестве «некоторых больных» в нашем случае выступают районы, где расположены крупные угольные ТЭС.

Специальные исследования, проведенные во многих странах, показали, что радиоактивность почв и воздуха на территориях, прилегающих к ним, порой в десятки раз превышает не только фоновые, но даже предельно допустимые значения. Здесь многое зависит от того, какой именно уголь использует конкретная ТЭС. Ведь угли разных месторождений существенно различаются по концентрации радионуклидов из-за чисто геологических причин (в самом начале мы частично рассмотрели их). К тому же очень многое зависит от технологии подготовки топлива и технологии его сжигания.

Перед тем как уголь поступит в топку ТЭС, его, как правило, обогащают — для снижения зольности из сырья стараются удалить минеральные компоненты. При этом содержание тория тоже заметно снижается: данный радиоактивный элемент входит в состав минеральных частиц. А вот уран, связанный с органическим веществом, в обогащенном угле, напротив, концентрируется, его относительное содержание возрастает.

Далее — собственно сжигание. Температура котлов современных ТЭС может составлять от 1000 до 1600°C и более. При таких температурах некоторая часть радионуклидов переходит в газовую фазу. Продвигаясь по внутренним коммуникациям ТЭС, продукты сгорания остывают до сотен градусов, и радионуклиды конденсируются на поверхности частиц золы, которые либо задерживаются фильтрами (на крупных ТЭС это обычно электрофильтры), либо выбрасываются в атмосферу с дымовыми газами.

В результате часть радионуклидов оказывается в золоотвале, другая — в воздухе. Между тем зола ТЭС — весьма привлекательное технологическое сырье. Ее используют как наполнитель бетонов вместо песка при производстве строительных материалов. Если же радиоактивность сырья повышена и контролируемые службы работают как надо, золу применять запрещают.

Но если в этом случае радиационную безопасность людей можно обеспечить хотя бы запретами, то с той частью радиоактивных элементов, которая оказалась в атмосферном воздухе, дело обстоит хуже. А ведь в самых мелких частицах, которые хуже всего улавливаются системами очистки, концентрация радиоактивных элементов наиболее высока. Компоненты частиц, попавших при дыхании

в легкие, поступают далее в кровь и проникают в ткани, вызывая серьезные заболевания. Особый вред наносят при этом химические элементы, способные испускать  $\alpha$ -частицы, а к ним относятся как торий, так и уран.

Свойство  $^{232}\text{Th}$  накапливаться в костном мозге — кроветворном органе, а также большой период полувыведения определяют его повышенную радиационную опасность. Несмотря на то что концентрации урана в ископаемых углях обычно существенно выше, чем тория, по способности к биологическому накоплению он уступает последнему, да и как  $\alpha$ -излучатель уран менее активен. Отсюда, как уже упоминалось, и нормативы, согласно которым количество тория в воздухе должно быть на два порядка ниже, чем урана.

Между тем радионуклиды, как и другие загрязняющие вещества, поступают в воздух из дымовых труб ТЭС и, попав в атмосферу, рассеиваются, образуя сложное объемное поле, в пределах которого концентрация вещества уменьшается от максимума у выхода из трубы до минимальных (фоновых для данного района) значений. Конфигурация поля концентраций зависит от направления движения и скорости ветра, изменения температуры воздуха по высоте, массы выбрасываемого вещества, скорости выхода дымовых газов, высоты трубы, общего объема дымовых газов и некоторых других параметров. В Главной геофизической обсерватории Госкомгидромета РФ разработана методика расчета концентрации загрязняющего вещества в любой точке, если известно положение и параметры источника загрязнения. Практически наиболее важно знать распределение концентраций «на уровне дыхания» (принято — на высоте 1,8 м). В качестве примера рассмотрим особенности радиационной обстановки в районе одной из крупных угольных ТЭС, на которой сжигаются угли Донецкого бассейна.

Для начала специалисты определили содержание  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  в угле, золе и шлаке этой ТЭС. Затем, с учетом массы перечисленных материалов и содержания в них радионуклидов, по балансу вычислили содержание радионуклидов в дымовом выбросе и, наконец, по упомянутой выше методике — распределение радионуклидов в атмосферном воздухе территории, прилегающей к ТЭС.

Оказалось, что область превышения допустимых концентраций  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  в приземном слое воздуха охватывает территорию в несколько сот квадратных километров. По мере прибли-



Средние эффективные эквивалентные дозы облучения населения на территории СССР в 1981–1985 годах

Источник излучения	Доза (мкЗв)
Естественный радиационный фон	2250
Стройматериалы, минеральные удобрения и др.	1413
Рентгеновская и радиоизотопная диагностика	1400
Испытания атомного оружия	25
АЭС	0,17
ТЭС	2



жения к ТЭС эти превышения становятся все больше и вблизи станции превосходят нормативы для урана в десять, а для тория даже в несколько десятков раз.

Радиационную обстановку на территории, прилегающей к каждой конкретной ТЭС, приходится оценивать отдельно, даже если две электростанции равной мощности используют топливо с близкими содержаниями радиоактивных веществ. Ведь в углях носителями радионуклидов может быть как органическое вещество, так и минеральные примеси — глины и сульфиды железа. При одних и тех же условиях сжигания переход в газообразное состояние зависит от термодинамической устойчивости носителей радионуклидов. Если температура превышает 1000°C, органическое вещество и сульфиды железа распадаются, а вот глинистые минералы оказываются довольно устойчивыми к нагреву. Поэтому радионуклиды, которые включены в кристаллическую решетку глинистых минералов, остаются большей частью в золе и шлаке.

На основании исследований, подобных тем, о которых только что шла речь, специалисты, работающие в области радиационной безопасности, пришли к заключению, что загрязнение окружающей среды угольными ТЭС может быть довольно значительным. В их окрестностях концентрации радионуклидов часто достигают опасных уровней, причем это загрязнение многократно превосходит то, которое создают атомные электростанции, работающие в безаварийном режиме.

Кроме того, весьма значительные количества угля сжигают небольшие котельные и обычные граждане для обогрева своих жилищ. При этом ни в маленьких котельных, ни в жилых домах нет систем очистки дымовых выбросов, а высота труб невелика. В результате дым, насыщенный радионуклидами, стелется прямо над землей, и, по некоторым оценкам, такие выбросы могут воздействовать на население сильнее, чем выбросы крупных предприятий. Одним словом, проблема существует, и нельзя закрывать на нее глаза.

## Заключение

Экология — наиболее уязвимое место угольной энергетики. Запасов угля, вполне пригодных для разработки как в горно-геологическом, так и в экономическом отношении, вполне хватит на несколько сотен лет (в отличие от нефти и газа), даже если его добыча будет постоянно расти, но как быть с загрязнением окружающей среды?

Сейчас внимание природоохранных организаций и энтузиастов привлекают в первую очередь такие мощные загрязнители, как сера, твердые частицы (зола), оксиды азота и углерода. Стали обращать внимание и на тяжелые металлы (As, Se, Cd, Hg), и на так называемые микроэлементы (Be, V, Cr) в составе углей — ведь все вместе они способны нанести природе ущерб, вполне соизмеримый с ущербом от «традиционных» загрязнителей. Пришло время оценить и радиоактивное загрязнение, создаваемое угольной энергетикой, поискать пути защиты природной среды от радионуклидов в дымовых выбросах.

Кое-что можно предложить уже сейчас.

Первый путь — извлечение загрязняющих веществ из угля до его сжигания. Это технологии обогащения. Напомним, что значительная доля радионуклидов находится в минеральном веществе, которое как раз и стремятся удалить для снижения зольности топлива. В нашей стране обогащают около 70% сжигаемых углей, попутно добываясь снижения содержания в топливе различных микроэлементов и серы (см. «Химию и жизнь», 2005, №12).

Технологии обогащения угля постоянно развиваются, но в практику внедряются далеко не все разработки. Когда проблема переходит в сферу бесстрастных экономических расчетов и оценок «что выгоднее», результаты анализа оказываются чаще всего не в пользу защиты окружающей среды.

Второй путь — извлекать загрязняющие вещества из дымовых газов до их поступления в атмосферу, — по-

жалуй, более перспективен. Как уже говорилось, основное внимание технологов, работающих в этом направлении, сосредоточено на очистке выбросов от оксидов серы (SO<sub>2</sub>), азота (NO<sub>x</sub>), углерода (CO<sub>2</sub>), а также от твердых частиц (так называемого «проскока»). Особое внимание следует обратить на радионуклиды в твердых частицах, совершенствуя конструкцию электрофильтров.

И не нужно думать, что если радиационное загрязнение в большинстве районов, где находятся угольные ТЭС, не превышает допустимого уровня, то можно оставить все как есть. Последствия облучения малыми дозами не всегда заметны сразу, но они могут заявить о себе через десятилетия. Рост числа онкологических заболеваний в некоторых районах, повышенная частота рождения детей с генетически обусловленными аномалиями — все это нельзя однозначно связать с повышением радиационного фона, но следует помнить, что воздействие радиации суммируется с другими негативными факторами. Иными словами, не существует такой дозы облучения, которая не создавала бы риска, и этот риск возрастает пропорционально дозе облучения.

Таким образом, общество, крайне обеспокоенное опасностью, которую могут создавать аварийные ситуации на атомных электростанциях, не должно оставлять без внимания источники «малой радиации», в частности угольную энергетику.

### Что еще можно прочитать о радиоактивности углей и экологических проблемах угольной энергетики:

Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. Ростов-на-Дону: Изд. Северо-Кавказского научного центра высшей школы, 2002.  
Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2002.  
Радиация. Дозы, эффект, риск. Пер. с англ. М.: Мир, 1990.

