

# РАДИЙ КАК ИСТОЧНИК РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

## RADIUM AS A SOURCE OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

В.Г. САФРОНОВ, к.т.н.,  
А.В. ЖЕВЛАКОВ, к.г.-м.н.  
(ГУП МосНПО «Радон»)



■ Радий-226 — радиоактивный элемент, образующийся в результате распада природного урана-238. До того, как были созданы и накоплены искусственные радиоэлементы и их изотопы (т.е. до середины 1960-х годов), энергия радиоактивного распада радия широко использовалась в науке и технике. Однако высокая активность этого элемента не только послужила научно-техническому прогрессу, но и обусловила радиоактивное загрязнение территорий рудников и водных промыслов, а также различных предприятий и организаций, работавших с радием.

### ЗАГРЯЗНЕНИЯ В МЕСТАХ ДОБЫЧИ РАДИЯ

В нашей стране радий впервые был извлечен из урановой руды в 1921 году В.Г. Хлопиным. Эта руда добывалась в труднодоступных горах Средней Азии, в очень малых количествах. Общие запасы урана не превышали 120 тонн. И из них можно было извлечь около 40 г радия.

Интенсивные поиски урановых месторождений начались в сороковых годах, в связи с разработкой и созданием атомного оружия. А к шестидесятым советские геологи открыли залежи руды с общим запасом в сотни тысяч тонн урана. Однако в военной и гражданской промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и медицине использовалась лишь незначительная доля радионуклидов в виде производственного радия и искусственных изотопов, а большая их часть, не извлеченная из руды, складировалась на специальных полигонах-могильниках (т.е. в хранилищах радиоактивных отходов).

В местах разведки, добычи и обогащения урановых руд до сегодняшнего времени сохранились отвалы и хвостохранилища



V.G. SAFRONOV, Candidate of Technical Sciences  
A.V. GHEVLAKOV, Candidate of Geology  
and Mineralogy (SUE SIA Radon)

■ Radium-226 is a radioactive element that results from Uranium-238 decay. Before artificial radioactive elements and their isotopes were produced and accumulated (i.e. before mid-1960s), the energy of radioactive decay of radium had been widely used in science and technology. However, the high activity of this element not only facilitated technological development, but also contributed to radioactive contamination of the sites of mines and fisheries, as well as various facilities that used radium.

### CONTAMINATION IN RADIUM MINING AREAS

In this country, radium was first extracted from uranium ore in 1921 by V.G. Khlopin. Small quantities of ore were mined in remote mountains of Central Asia. The total uranium stock did not exceed 120 tons; from this quantity, some 40 g of radium could be extracted.

The development and manufacturing of nuclear weapons set off intensive search for uranium deposits which started in 1940s. By 1960s, Soviet geologists had discovered ore deposits of hundreds of tons of uranium. However, the defense and civil industry, transport, agriculture and health-care used only a minor part of radionuclides in the form

**Ra** 88

226,0254

Radium

■ Распад радия сопровождается образованием радиоактивного газа радона, а также мощным альфа- и гамма-излучением. Точечный источник в 1 мг радия в равновесии с основными дочерними продуктами распада на расстоянии

1 см (при наличии платинового фильтра толщиной 0,5 мм) создает мощность экспозиционной дозы гамма-излучения 8,4 Р/ч.

■ Radium decay is accompanied by radon emission, as well as high alpha- and gamma-radiation. The gamma-radiation exposition dose of a 1-mg point source of radium in balance with its main daughter products, at the distance of 1 cm (with a platinum filter 0.5 mm thick), is 8.4 R/h.

с низким содержанием урана и радия. Мощность экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения от непромышленной равновесной руды, содержащей 0,02% урана, составляет около 200 мкР/ч. Однако при длительном воздействии атмосферных осадков в бедных рудах начинается процесс выщелачивания урана, что приводит к образованию скоплений урана и радия, создающих очень высокий радиационный фон (до нескольких тысяч микроэрентген в час).

Подземные воды с высокой концентрацией радия, делавшей рентабельной его промышленную добычу, были обнаружены в 1927 году в рассолах нефтяного месторождения на реке Ухте ( $7,6 \cdot 10^{-9}$  г/л и выше). С 1931 по 1953 годы здесь получено 271 г, а в сороковые ежегодно добывалось 16,5–17,5 г этого элемента. Радиевые воды были открыты также в нефтеносных районах Предуралья и Предкавказья.

Районы добычи радия из подземных вод, естественно, подверглись радиоактивному загрязнению. На месте извлечения этого вещества из Ухтинских рассолов не было оборудованного хвостохранилища, и на поверхности в отвалах скопилось более 10 тыс. тонн шламов с 10 г радия. Здесь выявлено более 700 участков площадью от 10 до 10000 м<sup>2</sup> с МЭД гамма-излучения до 2500 мкР/ч. После проведения дезактивации, несколько лет назад, уровень радиоактивности местности немного снизился, однако эти работы не были полностью завершены.

□ В местах разведки, добычи и обогащения урановых руд до настоящего времени сохранились отвалы и хвостохранилища с низким содержанием урана и радия. При длительном воздействии атмосферных осадков в бедных рудах начинается процесс выщелачивания урана, что приводит к образованию скоплений радиоактивных элементов.

*There are dumps and tailings with low uranium and radium content in the areas of geological prospecting, mining and enrichment of uranium ore. Long-term impact of atmospheric precipitation sets off the process of uranium leaching in base ore, which leads to accumulation of uranium and radium.*

*of industrial radium and artificial isotopes, and their larger part, still in the ore, was kept at special sites (i.e. at radioactive waste storage facilities).*

*There still are dumps and tailings with low uranium and radium content in the areas of geological prospecting, mining and enrichment of uranium ore. The gamma-radiation exposure dose rate of unprofitable equilibrium ore containing 0.02% of uranium is about 200 mcR/h. Nevertheless, long-term impact of atmospheric precipitation sets off the process of uranium leaching in base ore, which leads to accumulation of uranium and radium that raise the radiation level to several thousand microerentgen per hour.*

*In 1927 it was discovered that the brine solutions of the Ukhta river oil fields contain water with high radium concentration ( $7.6 \cdot 10^{-9}$  g/l and higher) that could be extracted for commercial production. In 1931–1953, 271 grams of radium were extracted from the Ukhta river brines; in 1940s, about 16.5–17.5 g of this element were produced annually. Radium water was also discovered in the oilfields of Ciscaucasia and the foothills of the Urals.*

■ **Радий добывают** из урановых руд и радиевых вод. Впервые этот элемент был выделен Марией и Пьером Кюри в 1898 году из урановой смолки Яхимовского месторождения (Чехия).

В тонне природного урана — 0,34 г радия. Поэтому в первой половине 20-го века, до того, как обнаружили крупные урановые месторождения, добыча радия из руды была незначительной. Например, из Яхимовских урановых руд до 1931 года извлекли 39 г, из рудников США в 1911–1927 годах — 202 г радия. К 1940 году во всем мире было получено около 1 кг этого вещества. В 1916–1920 годах цена грамма радия достигала 175 тыс. долларов.

Радиевые воды содержат свыше  $1 \cdot 10^{-11}$  г/л этого радионуклида. Это подземные высокоминерализованные воды и рассолы; в них может быть до  $1 \cdot 10^{-8}$  г/л радия, тогда как в поверхностных водах (реки, озера, моря) среднее содержание этого элемента составляет  $1\text{--}5 \cdot 10^{-13}$  г/л. Обогащение подземной воды радием происходит в процессе его выщелачивания из трещин и капилляров горных пород и минералов, содержащих радиоактивные элементы.

■ **Radium is extracted** from uranium ore and radium water. This element was first isolated in 1898 from pitchblende of the Jachimov ore field (Czechia) by Marie and Pierre Curie.

*A ton of natural uranium contains 0.34 g of radium. That is why in the early 20th century, before large uranium deposits had been discovered, the quantity of radium extracted from ore was insignificant. For instance, by 1931 only 39 g of radium had been extracted from the Jachimov uranium ore; in the US in 1911–1927 the amount extracted was 202 g. By 1940 about 1 kilogram of this element had been isolated worldwide. In 1916–1920 the price of 1 g of radium reached 175,000 dollars.*

*Radium waters contain over  $1 \cdot 10^{-11}$  g/l of this radionuclide. These are highly mineralized groundwater and brines; they can contain up to  $1 \cdot 10^{-8}$  g/l of radium, while in surface water (rivers, lakes and seas) the content of this element is  $1\text{--}5 \cdot 10^{-13}$  g/l. Radium enrichment of water occurs in the process of its leaching from cracks and capillaries in the rock and minerals containing radioactive elements.*

**«НЕФТЯНОЙ СЛЕД»**

Крупные очаги радиоактивного загрязнения могут формироваться и при форсированной добыче нефти и газа. Так, техногенное загрязнение радием Ухтинского месторождения началось еще в 18-ом веке при добыче нефти. Многие скважины после выработки длительное время изливали воду, где содержание радия составляло  $n \cdot 10^{-9}$  г/л, и, в результате, вынесли на поверхность до 20 г этого вещества.

После длительной откачки нефти и рассолов на внутренней поверхности труб в большом количестве накапливаются соли радия. Сегодня на некоторых нефтяных промыслах, особенно в Татарстане и Башкортостане, после отработки месторождений старые (и загрязненные) трубы порой извлекаются из недр для вторичного использования. В Москве, например, в 2000—2005 годах работники Центра технологии приема, транспортирования радиоактивных отходов и радиационно-аварийных работ (Центр ТПТ РАО и РАР) ГУП МосНПО «Радон» выявили множество радиоактивных труб, которые использовались в качестве опор для троллейбусных электролиний, фонарных столбов, свай под фундаменты зданий и сооружений и т.д. На поверхности отдельных электроопор была зарегистрирована МЭД гамма-излучения до 1000 мкР/ч. На участках складирования труб в Северо-Восточном округе Москвы МЭД гамма-излучения за счет радия-226 составляла 300—800 мкР/ч, а в районе Строгино достигала 2500 мкР/ч. С этого участка было вывезено 3200 кг РАО.

В 2005 году специалисты Центра очистили от радионуклидов внутреннюю поверхность многих десятков труб, что позволило снизить их радиоактивность до фоновой (менее 30 мкР/ч). Тем не менее, работу по дезактивации старых нефтяных труб целесообразнее проводить там, где их извлекают из скважин, под контролем местных радиоэкологов.

**РАДИОАКТИВНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Термальные и артезианские воды широко применяются в лечебных целях, слабоминерализованные артезианские — в водоснабжении. Однако длительное использование таких вод также может привести к радиоактивному загрязнению местности.

Термальные воды, циркулирующие по зонам глубинных разломов, обогащены радием и его производными. На Пятигорском месторождении минеральных вод, например, содержание этого элемента в отдельных источниках составляет  $2-3 \cdot 10^{-11}$  г/л. В термальных водах с температурой 22—47 °С наряду с радием установлено высокое содержание радона. За длительный период разгрузки термальных вод на тер-

*The areas where radium was produced from groundwater were also subject to radioactive contamination. For instance, at the site where radium was extracted from the Ukhta river brines, no tailings dump had been constructed. As a result, some 10 thousand tons of slurry with 10 g of radium were accumulated at the surface dumping sites and repositories. Around 700 sites from 10 to 10000 m<sup>2</sup> with gamma-radiation dose rate up to 2500 mcR/h were discovered there. After cleanup operations, carried out in the early 2000s, the radiation level of the area was somewhat reduced, but the work has not been completed.*

**THE OIL TRACE**

*Large scale points of radioactive contamination can occur from intensive extraction of oil and gas. For example, the man-made radium contamination of the Ukhta oilfield began as early as the 18th century with oil commercial production. Many wells after the oil had run out emitted water with radium content of  $n \cdot 10^{-9}$  g/l; as a result, a total of 20 g of radium were carried to the surface.*

*Long-term withdrawal of oil and brines leads to radium salts accumulating on the inner surface of pipes. Today, at some oilfields, especially in Tatarstan and Bashkortostan, after the well has been exhausted, old (and contaminated) pipes sometimes are dismantled and re-used. For example, in 2000—2005 in Moscow, the specialists from the Center for RW Reception, Transportation and Radiation Emergencies of SUE SIA Radon traced many cases of using radioactive pipes as supports for trolley bus lines, lampposts, piles for building foundations, etc. The gamma exposition dose rate on the surface of some of the electric lines supports reached 1000 mcR/h. In the North-East part of Moscow, where*

*pipes were stored, the gamma exposition dose rate caused by radium-226 was 300—800 mcR/h, and in the Strogino district — 2500 mcR/h (some 3200 kg of radioactive waste has been shipped from the site).*

*In 2005, specialists of the Center cleaned from radionuclides the inner surface of dozens of pipes, reducing their radioactivity to the background level (less than 30 mcR/h). However, it is more economic to decontaminate old oil pipes on the spot, when they are taken out of the wells, under the supervision of the local radioecologists.*

**GROUNDWATER RADIOACTIVITY**

*Thermal and artesian waters are used for medical treatment, and low-mineralized artesian waters — in waterworks. However, long-term use of such waters causes radioactive contamination of the area.*

*Thermal waters circulating in the zones of deep underground faults are enriched with radium and its derivatives. For instance, in some of the Pyatigorsk mineral water springs radium content is  $2-3 \cdot 10^{-11}$  g/l. In thermal waters*

□ **Крупные очаги радиоактивного загрязнения могут формироваться и при форсированной добыче нефти и газа. После длительной откачки нефти и рассолов на внутренней поверхности труб в большом количестве накапливаются соли радия.**

*Large scale points of radioactive contamination can occur from intensive extraction of oil and gas. Long-term withdrawal of oil and brines leads to radium salts accumulating on the inner surface of pipes.*

расе реки Подкумок образовались известковистые осадки с окислами железа и марганца (травертины), содержащие соли радия и, по сути, являющиеся мощными эманулирующими коллекторами — генераторами радона. Поэтому его количество в водах достигает  $10^7$  Бк/м<sup>3</sup>, а МЭД гамма-излучения травертинов на отдельных участках составляет 300 мкР/ч.

Высокое содержание радия ( $n \cdot 10^{-11}$  —  $n \cdot 10^{-10}$  г/л) установлено и в высокоминерализованных водах глубоких горизонтов целого ряда артезианских бассейнов европейской части России (Московском, Рязано-Саратовском, Волго-Камском и др). Для использования таких вод в бальнеотерапии пробурено множество скважин, в том числе и в Москве. В 2001 году в Московской физиотерапевтической больнице вокруг скважины, откачивающей хлоридный натриевый рассол, специалисты «Радона» обнаружили участок радиоактивного загрязнения площадью 400 м<sup>2</sup> с МЭД гамма-излучения до 120 мкР/ч. В одном из помещений концентрация радона достигала 1000 Бк/м<sup>3</sup> (при норме 100 Бк/м<sup>3</sup>). В процессе дезактивации с этого участка удалено 2200 кг РАО, содержащих радий-226.

Артезианские воды, используемые в водоснабжении населения и в хозяйственных целях, обычно слабо минерализованы. Они вскрываются неглубокими скважинами (50—200 м, реже 300 м), но на участках глубоких разломов наблюдается гидравлическая связь верхних водоносных горизонтов с глубокими, содержащими радиевые воды. По нормативам (СанПиН 2.1.4.1074-01), суммарная активность радиоизотопов урана и радия в питьевой воде не должна превышать 0,1 Бк/л, но, по данным Всероссийского научно-исследовательского института минеральных ресурсов, артезианские воды, используемые в Центральной России, не всегда отвечают этим требованиям. Обследование на радиоактивность подземных вод Чеховского района Московской области, предназначенных для водоснабжения (1996 год), показало: даже в скважинах глубиной 32—90 м содержание радионуклидов (радия-226, урана-238 и др.) превышает норматив в 26 из 49 случаев.

В 2005 году в городе Железнодорожном сотрудники Центра ТПТ РАО и РАР провели дезактивацию котельной № 15. В накопительном баке и трубопроводах был обнаружен осадок толщиной 5—8 см, где МЭД гамма-излучения достигала 1500 мкР/ч за счет радия-226 и тория-232. Источником столь высокой радиоактивности стала артезианская вода из местной скважины.

### ПОСЛЕДСТВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАДИЯ

Радий как альфа и гамма-излучатель широко использовался в научных и технических целях, а также в медицине. Он, в частности, применялся при изготовлении составов постоянного действия (СПД) для приборов и аппаратуры ночного видения. Среди них

□ **Термальные воды, циркулирующие по зонам глубинных разломов, обогащены радием и его производными. Длительное использование таких вод также может привести к радиоактивному загрязнению местности.**

*Thermal waters circulating in the zones of deep underground faults are enriched with radium and its derivatives. Long-term use of such waters causes radioactive contamination of the area.*

*with temperature from 22 to 47 °C, along with radium, high level of radon can be found. During the long period of thermal water discharge, calcareous sediments containing iron and manganese oxides (adarcnes) with radium salts have accumulated in the terrace of the Podkumok river. They actually are powerful emanating collectors generating radon; consequently, the amount of radon in the water reaches 107 Bq/m<sup>3</sup>, and the exposition dose rate of adarcnes at certain sites amounts to 300 mcR/h.*

*High radium content ( $n \cdot 10^{-11}$  —  $n \cdot 10^{-10}$  g/l) has been found in the highly mineralized deep-level waters of a number of artesian basins in the European part of Russia (in the Moscow, Ryazan and Saratov, the Volga and the Kama basins, etc.). To extract these waters (they are used for balneotherapy), a lot of wells have been drilled around the country, including Moscow. In 2001, in the Moscow Physiotherapeutic Hospital there was a 400 m<sup>2</sup> spot of radioactive contamination with the exposition dose rate of up to 120 mcR/h discovered, located around the well with sodium chloride brine. In one of the hospital quarters radon concentration reached 1000 Bq/m<sup>3</sup> (the norm being 100 Bq/m<sup>3</sup>). Some 2200 kg of radioactive waste containing radium-226 was removed from the site.*

*Artesian waters used in water supply and utilities are usually low-mineralized. They are extracted through shallow boreholes (50—200 m, sometimes 300 m deep); however, on the sites with deep faults, there is a hydraulic connection of the upper water-bearing horizons with the deep ones that contain radium water. According to the accepted norms, the summary activity of uranium and radium radioisotopes in drinking water must not exceed 0.1 Bq/l, but, according to the data provided by the All-Russia Research Institute of Mineral Resources, the artesian waters used in Central Russia do not always meet these restrictions. In 1996, a survey of the groundwater used for water supply in the Chekhov district of the Moscow region showed that even in boreholes 32—90 m deep radionuclide content (radium-226, uranium-238) exceeds the norm in 26 out of 49 cases. In 2005, in the city of Zheleznodorozhny, the specialists of the Center, decontaminating a boiler-house, discovered a 5—8 cm thick deposit in the collecting tank and piping, which had the exposition dose rate up to 1500 mcR/h, due to radium-226 and thorium-232. The source of the high level of radioactivity was the artesian water from the local borehole.*

### THE CONSEQUENCES OF USING INDUSTRIAL RADIUM

*Radium, as well as alpha and gamma emitters, is widely used in science and technology, as well as medicine. In particular, it was used to manufacture long-term action composi-*

часто встречались различные часы (в том числе и наручные), МЭД гамма-излучения от которых составляла 150—900 мкР/ч. Мощность дозы излучения некоторых навигационных приборов, прицелов, компасов, манометров и т.п. колебалась в пределах 500—3500 мкР/ч. На предприятиях, в институтах, школах и музеях Московского региона были изъяты сотни предметов с СПД. Наибольшую дозу — 2Р/ч — излучала картина, висевшая в Музее Революции. Радиоактивному загрязнению подвергся и один из цехов Кольчугинского завода по обработке цветных металлов, где изготовляли СПД. Во время дезактивации (с 1993 по 1996 и с 2001 по 2005 годы) отсюда было вывезено около 850 м<sup>3</sup> РАО с МЭД гамма-излучения от 60 до 28000 мкР/ч.

Радиоактивному загрязнению часто подвергались и территории организаций, производивших или использовавших радиоизотопные приборы. В конце 50-х — начале 60-х годов применение радия-226 в приборах резко сократилось. Его заменили искусственные изотопы: кобальт-60, криптон-85, стронций-90, цезий-137, плутоний-239 и др. Соответственно возрос и их вклад в радиационное загрязнение территорий предприятий.

С 2001 по 2005 годы работники Центра ТПТ РАО и РАР ГУП Московского «Радона» в процессе дезактивации вывезли с объектов Москвы и Московской области более 2200 м<sup>3</sup> РАО. Исследования нуклидного состава этих отходов показали, что на долю радия-226 приходится 62,0% РАО (для сравнения: цезий-137 дает 15,5% загрязнений, плутоний-239 — 7,8, торий-232 и кобальт-60 — 3,9, остальные радионуклиды — 6,9%).

Таким образом, радий является основным источником радиоактивного загрязнения Московского региона. Учитывая ситуацию, сложившуюся в местах добычи и использования этого элемента, можно сделать вывод: загрязнение радием — одна из острых радиологических проблем современной России.

#### Литература / List of references

1. Кимель Л.Р., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. М., 1966.
2. Патов Е.А. Стране был нужен уран. История геологоразведочных работ на уран в СССР. М., 2005.
3. Уран на рубеже веков: природные ресурсы, производство, потребление. М., 2000.
4. Токарев А.Н., Шербаков А.В. Радиогидрогеология. М., 1956.
5. Кичигин А.И. Радиевый промысел на реке Ухте. Тезисы докладов международной конференции «Радиационная безопасность территорий. Радиэкология города». М., 2003.
6. Сафронов В.Г., Жевлаков А.В. Московский регион: техногенные изменения радиационного фона. «Барьер безопасности», № 8, 2003.
7. Ильин Л.А., Кириллов В.Ф., Коренков И.П. Радиационная гигиена. М., 1999.
8. Бахур А.Е. Радиоактивность природных вод. АНРИ № 2(8). 1996/97.
9. Лысенко Н.П., Гудыменко В.А. и др. Радиоактивность природных вод Чеховского района Московской области. АНРИ № 1.2003.



△ Дезактивация очага радиоактивного загрязнения в помещении цеха №14 ОАО «Кольчугцветмет»

*Decontamination of polluted site at shop №14 "KolchugTsvetMet"*

*tions (LACs) for night vision equipment and devices, including clocks and watches with exposition dose rate reaching 150—900 mcrR/h. Some navigation aids, sights, compasses, manometers emitted between 500 and 3500 mcR/h. In Moscow, hundreds of items containing LACs were spotted and withdrawn from public places — enterprises, institutes, schools and museums. The biggest dose rate (2 R/h) was emitted by a picture in the Revolution Museum. The premises of the Kolchugino Non-ferrous Metal Plant, where the LACs were manufactured, was also contaminated. During the cleanup operations of 1993—1996 and 2001—2005, some 850 m<sup>3</sup> of waste with the dose rate of 60—28 000 mcR/h were shipped from the site.*

*The sites of facilities manufacturing or employing radioisotope equipment were also subject to contamination. In the late 50s and early 60s, the use of radium-226 was drastically reduced. It was replaced by artificial isotopes: cobalt-60, krypton-85, strontium-90, cesium-137, plutonium-239 and others. Consequently, their share in radioactive contamination of sites grew.*

*In 2001—2005, the specialists of the Center for RW Reception, Transportation and Radiation Emergencies of SUE SIA Radon shipped over 2200 m<sup>3</sup> of RW from the sites in Moscow and the Moscow region. The survey of the nuclide composition of the waste showed that the share of radium-226 was 62.0%, whereas cesium-137 maked up 15.5%, plutonium-239 — 7.8%, thorium-232 — 3.9%, cobalt-60 — 3.9%, other radionuclides — 6.9%.*

*Thus, radium is the main source of radioactive contamination in the Moscow region. Taking into account the situation at the sites where this element is mined and used, we can say that radium contamination is one of the most acute environmental problems in the present-day Russia.*