

Р. М. Ахметов, Р. Ф. Абдрахманов

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДАХ ЮЖНОГО УРАЛА И ПРЕДУРАЛЬЯ

Источники ионизирующих излучений подразделяются на естественные и техногенные. К естественным источникам относятся компоненты экосистем, содержащие радионуклиды в их первозданном виде. Это космическое излучение и космогенные нуклиды, а также радионуклиды, содержащиеся в горных породах, почвах, гидросфере и атмосфере. К техногенным относятся источники, образовавшиеся в связи с различными видами хозяйственной деятельности. В данной работе мы рассматриваем отходы нефтедобывающих и горнорудных предприятий, являющиеся источниками эмиссии радионуклидов.

Радиоактивность горных пород определяется в основном содержанием U, Th, ⁴⁰K. Содержание данных элементов в почвах жестко связано с их содержанием в породах (табл. 1).

В целом на Южном Урале содержание Th в породах колеблется в пределах 0,075–9,50 мг/кг, U — в пределах 0,14–12 мг/кг; в почвах: Th — 3,90–14,33 мг/кг, U — 0,39–3,45 мг/кг [Проблемы..., 2003].

Разработка месторождений рудных и горючих полезных ископаемых приводит к серьезной нагрузке на природную среду. Основной причиной такой нагрузки является загрязнение геосистем различными токсикантами, в том числе тяжелыми металлами (ТМ) и радиоактивными элементами (РЭ). В таблице 2 приведены данные по техногенному высвобождению РЭ при отдельных видах хозяйственной деятельности. Поступление радия, радона и продуктов их распада при добыче нефти и природного газа превосходит эмиссию радона при сжигании угля и в ядерной энергетике.

Радиоактивность нефтей палеозойских отложений Ю. Урала колеблется от 100 до 550 имп/мин на 1 г нефти [Зуфарова, 1976]. Фоновая радиоактивность нефтей равна 100–300 имп/мин. Выявляется тенденция к увеличению радиоактивности нефтей от более древнего возраста (девон) к нефтям более молодым (карбон и пермь). Это характерно не только для нефтей крупных стратиграфических комплексов, но и для нефтей отдельных горизонтов внутри этих комплексов. На фоне общей тенденции изменения радиоактивности нефтей с глубиной и возрастом значительно распространены нефти с аномальной радиоактивностью. Эти нефти приурочены или прилегают к территориям с тектоническими нарушениями, например, линия аномальной радиоактивности от Игровского до Культюбинского месторождения. Здесь радиоактивность нефтей

составляет 300–550 имп/мин. С увеличением радиоактивности отмечается тенденция к увеличению удельного веса нефтей, содержания смол и асфальтенов (рис. 1). Носителями радиоактивности в нефтях, очевидно, являются металлоорганические комплексы, высшие ароматические углеводороды и сернистые соединения. В нефти содержатся 10^{-8} – 10^{-4} г/т радиоактивных элементов.

В нефтях отмечаются также значительные содержания ТМ, они составляют десятки и сотни г/т. Значительные концентрации тяжелых металлов и радионуклидов содержатся также в пластовых рассолах.

В 80-х годах прошлого века на Ромашкинском и Шкаповском месторождениях стали известны факты интенсивного отложения радиоактивных осадков на технологическом оборудовании товарных парков и на установках подготовки нефти. Техногенные радиоактивные загрязнения, связанные с нефтедобычей, проявляются и в других регионах России. На площадях в десятки и сотни гектаров мощность дозы гамма-излучения составляет от 100 до 1000 мкР/час, достигая 3 мР/час в местах очистки технологического оборудования. Радиоактивное загрязнение образуется также при многочисленных порывах нефтепроводов и водоводов. Прогнозируется, что при сохранении существующего положения районы нефтедобычи могут стать зонами экологического бедствия. Общее радиоэкологическое воздействие нефтепромыслов на окружающую среду в тысячи раз превышает воздействие АЭС [Миниغازимов, 2000; Абдрахманов, Ахметов, 2007].

Основная масса радиоактивных элементов накапливается в различных шламонакопителях, нефтешламных амбарах. Основная причина появления радия в пластовых флюидах нефтяных месторождений — выщелачивание и ионный изотопный обмен. В результате на Ромашкинском месторождении происходит вынос радиоактивного радия, причем максимум наблюдается в первые 2–3 года эксплуатации. При увеличении обводненности добываемой нефти до 60% и более поступление радионуклидов резко снижается (на 2 порядка). Объем загрязненных радионуклидами отходов (осадков) достигает 5 тыс. м³/год, содержание радиобарита в них достигает 90%.

Как уже отмечалось, шламонакопители, в особенности земляные амбары, являются серьезным источником загрязнения природной среды, т. к. они

Таблица 1

Удельная активность ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th в породах и почвах и мощность дозы излучения на высоте 1 м [Очкин и др., 2003]

Порода или почва		Удельная активность, Бк/кг			Мощность дозы на высоте 1 м, мкГр/ч
		^{40}K	^{238}U	^{232}Th	
Породы	Граниты	1000	60	80	0,12
	Базальты	240	10	10	0,02
	Известняки	90	30	7	0,02
	Песчаники	370	19	10	0,03
	Сланцы	700	44	45	0,08
Почвы	Сероземы	670	31	48	0,074
	Черноземы	410	22	36	0,051
	Каштановые	550	27	37	0,060
	Серые лесные	370	18	27	0,041
	Подзолистые	150	9	12	0,018
	Торфянистые	90	6	6	0,011
	Средние значения	370	26	26	0,046
	Типичный диапазон	110–740	11–52	7,5–48	0,014–0,090

Таблица 2

Относительные уровни эмиссии некоторых радионуклидов, пересчитанные на поток ионизирующей энергии (Дж/с) [Очкин и др., 2003]

Радионуклид	Ядерная энергетика, включая добычу руд (1981 г.)	Сжигание угля (1980 г.)	Добыча природного газа и нефти	Глобальная природная эмиссия
^{222}Rn	53000	3000	75000	120000000
^{226}Ra	0,22	10	20	1100
^{210}Pb	8	26	18	19000

эксплуатируются в течение нескольких десятилетий. Вопросам утилизации нефтяных шламов (отходов) и ликвидации амбаров уделяется недостаточное внимание; при этом система мониторинга загрязне-

ния природных объектов предусматривает контроль только концентрации нефти и хлоридов.

В то же время дозиметрические измерения на базе капитального ремонта ППН НГДУ «Аксаковнефть» (пос. Сухоречка) показали фон 292 мкР/ч (при норме 30 мкР/ч), а в нефтяном амбаре — 655 (4-ый диэмульсатор) и свыше нескольких тыс. мкР/ч (3-й диэмульсатор) [Миниغازимов, 2000].

В шламонакопителях (амбарах) НГДУ «Туймазанефть» происходит накопление ТМ. В неорганической части нефтешлама из амбара УКПН-5 обнаружены (% вес.): бериллий, германий, олово, галлий, кадмий, кобальт — 10^{-4} ; мышьяк, скандий, свинец, ниобий, ванадий, никель, хром,

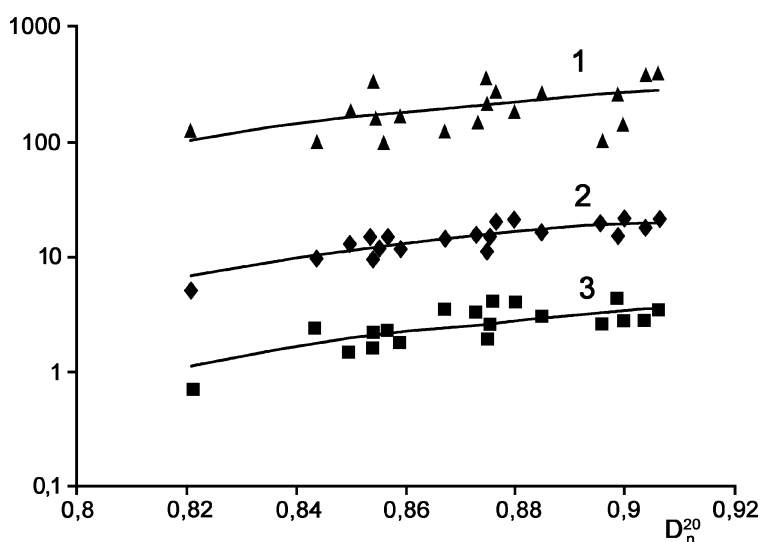


Рис. 1. Корреляция плотности нефтей с их различными характеристиками [Зуфарова, 1976]
1 — радиоактивность нефтей (имп/мин), 2 — сумма смол и асфальтенов (%), 3 — содержание серы (%)

цирконий, торий, уран — 10^{-3} ; марганец, молибден, медь, цинк, стронций — 10^{-2} ; титан — 0,2; железо, барий — 1,0.

Общий объем эмиссии токсичных ТМ в природную среду при добыче, транспорте, переработке нефти, сжигании жидкого и газообразного топлива никогда не определялся. Если учесть, что только на нефтяных месторождениях Татарстана и Башкортостана добыто более 3,5 млрд. т нефти и около ста млрд. м³ пластовых вод, в природную среду попали десятки тыс. т токсичных ТМ и РЭ.

Добыча и переработка рудного сырья на восточном склоне Южного Урала сопровождается накоплением больших объемов твердых отходов. Данные отходы являются своеобразными «аккумуляторами» техногенных мигрантов, в том числе различного рода токсикантов. Большинство токсикантов вовлекается в миграционные потоки с жидкими стоками, объемы которых составляют более 4,5 млн. м³/год. Слабоизученной является проблема распространения в отходах РЭ, которые ранее не рассматривались в качестве поллютантов.

Содержания РЭ в литосубстрате региона показано на рис. 2. Следует отметить, что в ряду палео-

зойских вулканогенных формаций Магнитогорской зоны наблюдается возрастание количества К, U и Th от более древних пород к более молодым. Эта тенденция не является абсолютной, а несет элемент цикличности в связи с чередованием толеитовых петрогенетических серий с известково-щелочными (баймак-бурибаевская — ирендыкская, карамалыташская — улутауская свиты). Установлена также повышенная концентрация данных элементов в восточных зонах Магнитогорского мегаинклинория по сравнению с западными [Голованова, 2005].

В ходе исследований Д.Г. Тараборина [2004] установлено, что колчеданные комплексные руды в Тагило-Магнитогорском прогибе отличаются заметно выраженным парагенезисом с радионуклидами, в первую очередь с ураном и торием. Аномальная радиоактивность приурочена не только к площадям и участкам медноколчеданного оруденения, но и к гипергенным образованиям.

Несмотря на относительно невысокие содержания РЭ в породах, процессы техногенеза приводят к их накоплению в сточных водах (мг/л): U до 1; Th до 0,8. Радиоактивные элементы всегда ассоциируются с редкоземельными элементами (РЗЭ).

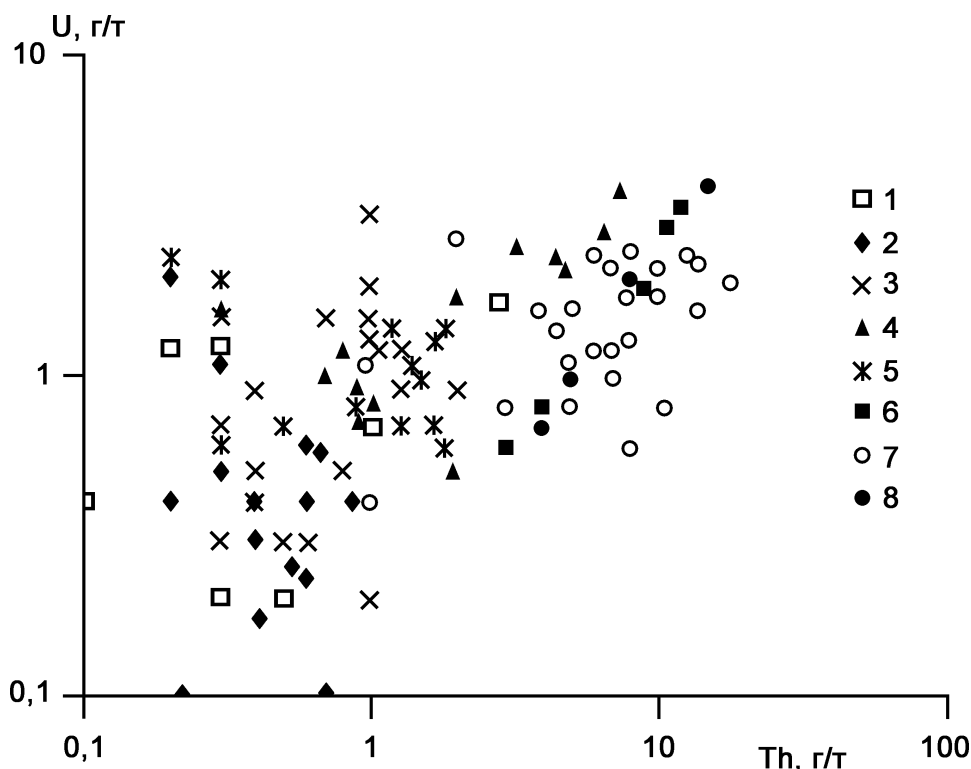


Рис. 2. Соотношения содержаний U и Th в вулканогенных породах (O–C₁) Магнитогорской мегазоны [Косарев и др., 2000]

Условные обозначения: 1 — базальты ордовикско-силурийского возраста Вознесенско-Присакмарской зоны; 2 — вулканиты баймак-бурибаевской свиты (D₁); 3 — вулканиты верхнетаналыкской свиты (D₁); 4 — вулканиты ирендыкской свиты (D₁₋₂); 5 — вулканиты карамалыташской свиты (D₂); 6 — вулканиты D₃ (средние значения); 7 — вулканиты березовской и кизильской свит (C₁); 8 — то же, средние значения

Концентрации редких элементов в подотвальных водах представлены в таблице 3. Данные элементы являются комплексообразователями. Первоначально эти элементы существуют преимущественно в виде гидроксокомплексов, но по мере возрастания в растворах концентраций сульфат- и хлор-иона, они переходят в сульфатные и частично хлоридные комплексные соединения этих металлов.

Содержание урана почти во всех пробах имеет прямую корреляцию с содержанием иттрия (рис. 3), что соответствует литературным данным [Геохи-

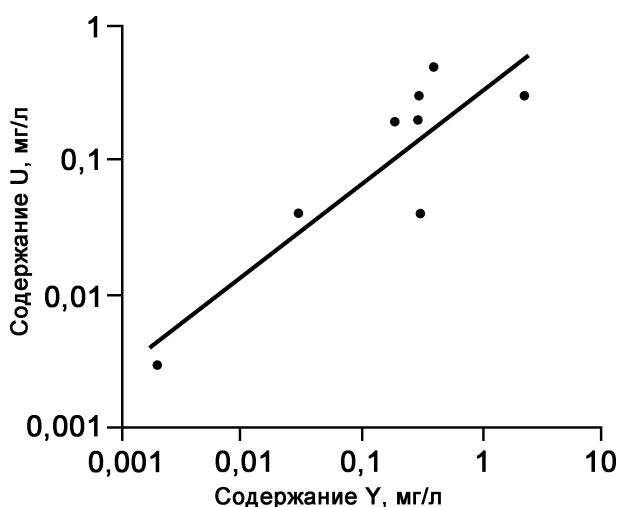


Рис. 3. Корреляция содержаний иттрия и урана в подотвальных водах

мия ..., 1964] о поведении урана и РЗЭ иттриевой группы в зоне гипергенеза. В результате процессов выветривания происходит накопление церия, элементов цериевой группы, тория в продуктах гипергенеза. Одновременно с этим происходит вынос из пород и концентрация в водах иттрия, элементов иттриевой группы, урана.

Содержание урана в подотвальных водах составляет от 0,006 до 1 мг/л (при норме для питьевых вод до 0,05 мг/л). По классификации О.А. Алекина [1970] концентраций урана в природных водах значение 0,0005% относится к очень высоким. В обстановке низких значений рН уран (преимущественно в виде комплексов уранил-иона — UO_2^{2+}) начинает мигрировать и по мере снижения кислотности обстановки может накапливаться в подсистемах природной среды (почве, донных отложениях и др.).

Источниками урана и тория могут быть: пирит, флюорит, породообразующие минералы (полевые шпаты, слюды и проч.), торбастизит и в меньшей степени циркон. Уран образует вокруг породообразующих минералов кайму, которая представляет собой сорбционную пленку. Концентрация урана в этой пленке в 1000–10000 раз выше, чем в самих минералах [Титаева, 2002].

Вышеперечисленные данные свидетельствуют о том, что в систему экологического мониторинга в нефтедобывающих и горнопромышленных районах необходимо включить контроль радиационной обстановки.

Таблица 3

Содержания РЗЭ и радионуклидов в подотвальных водах месторождений Южного Урала [Абдрахманов, 2005]

Элемент	Бурибай, %	Сибай, %		Бакр-Тау, %	Учалы, %	
Y	0,003	0,00024	0,002	0,006	0,003	0,01
La	0,00054	0,00004	0,0003	0,001	0,0006	0,0014
Ce	0,002	0,00009	0,0007	0,003	0,0014	0,004
Nd	0,0014	0,000054	0,0006	0,002	0,0009	0,003
Pr	0,0003	0,00001	0,0001	0,0004	0,0002	0,0006
Sm	0,0005	0,00004	0,0002	0,0006	0,00034	0,001
Eu	0,0001	0,000007	0,00008	0,0001	0,0009	0,0003
Tb	0,0001	0,000006	0,00008	0,0002	0,0001	0,0001
Dy	0,0005	0,00004	0,0005	0,001	0,0007	0,002
Er	0,0003	0,00003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0014
Yb	0,0002	0,000007	0,0002	0,0005	0,0004	0,001
Lu	0,00003	0,000003	0,00003	0,00007	0,00004	0,0002
Ho	0,0001	0,00001	0,00009	0,0002	0,000134	0,0005
Tm	0,00007	0	0,00003	0,00007	0,00005	0,0002
Th	0,00002	0,000003	0,00004	0,0005	0,00008	0,00014
U	0,0002	0,0001	0,0003	0,00003	0,0002	0,0005

Литература:

Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.

Абдрахманов Р.Ф., Ахметов Р.М. Радиоактивные элементы в нефтедобывающих и горнопромышленных системах Южного Урала // Новые идеи в науках о земле: Сб. материалов. М., 2007. С. 187–189.

Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеопиздат, 1970. 442 с.

Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов: В 3 т. / Под ред. *К.А. Власова*. М.: Наука. 1964. Т. 1. 687 с.

Голованова И.В. Тепловое поле Южного Урала. М.: Наука, 2005. 189 с.

Зуфарова Н.А. Органическое вещество и нефтегазоносность верхнепротерозойских образований Башкирии. М.: Наука, 1976. 107 с.

Косарев А.М., Голованова И.В., Селезнева Г.В. Калий, уран и торий в вулканитах ордовикско-нижнекамен-

ноугольного формационного ряда в Магнитогорском мегасинклинории // Геологический сборник № 1 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2000. С. 88–92

Минигазимов Н.С. Охрана и рациональное использование водных ресурсов в нефтяной промышленности: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / РосНИИВХ. Екатеринбург, 2000. 45 с.

Очкин А.В., Бабаев Н.С., Магомедбеков Э.П. Введение в радиоэкологию: Для вузов. М.: ИздАТ, 2003. 199 с.

Проблемы экологии: Принципы их решения на примере Южного Урала / Под ред. *Н.В. Старовой*. М.: Наука, 2003. 287 с.

Тараборин Д.Г. Аномальная радиоактивность месторождений твердых полезных ископаемых Южного Урала (Оренбургская область) как фактор осложнения радиационной обстановки в регионе // Отечественная геология. 2004. № 5. С. 29–34.

Титаева Н.А. Геохимия изотопов радиоактивных элементов (U, Th, Ra): Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / МГУ. М., 2002. 91 с.