

полагает малость потока питания по сравнению с потоком циркуляции, не выходит за рамки точности классического метода усреднения по радиусу [1, 2], и обе теории в области своего применения приводят к одинаковым количественным результатам. По этой причине критика классических работ [1, 2] с позиций [5—8] не обоснованна. Относительная ошибка при вычислении интегральных разделительных характеристик центрифуги в подходах [1—3, 5] приблизительно пропорциональна отношению потока питания g к интенсивности полного противотока L (см. рисунок, a). В отличие от [1—3, 5] подход [4] справедлив при произвольном соотношении g и L , что важно для более корректного решения оптимизационных задач. При этом все варианты метода усреднения по радиусу [1—5] совпадают при отсутствии питания, когда поле течения является соленоидальным, линии тока замкнуты, а различия между функцией полного тока, ядром противотока и вихрем исчезают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cohen K. The Theory of Isotope Separation as Applied to Large-Scale Production of U^{235} . New York: McGraw-Hill Book, 1951. 165 p.
2. Обогащение урана. Под ред. С. Виллани. Пер. с англ. под ред. И.К. Кикоина. М.: Энергоатомиздат, 1983. 320 с.
3. Olander D. The theory of uranium enrichment by the gas centrifuge. — In: Progress in Nuclear Energy, v. 8. New York—London: Pergamon Press Ltd., 1981 (Printed in Great Britain), p. 1—33.
4. Токманцев В.И. Уточненное уравнение для анализа разделения бинарной смеси изотопов в газовой центрифуге методом усреднения по радиусу. — Атомная энергия, 2002, т. 92, вып. 5, с. 360—366.
5. Александров О.Е. Применение метода усреднения по радиусу для описания диффузии в газовой центрифуге при неоднородном потоке циркуляции. — Там же, 1999, т. 86, вып. 3, с. 210—219.
6. Александров О.Е. Идеальная центрифуга. — Там же, 1999, т. 87, вып. 3, с. 213—219.
7. Александров О.Е. Локальная эффективность разделения в газовой центрифуге. — Там же, 2001, т. 90, вып. 5, с. 378—385.
8. Александров О.Е. Разделительная способность газовой центрифуги и некоторые ошибки ее оптимизации. — Там же, 2002, т. 92, вып. 3, с. 212—221.
9. Корн К., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1978. 830 с.

Поступила в Редакцию 25.11.02

УДК 621.384:633. 539.17

ВЫХОД РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫЕ РАСТВОРЫ ПРИ ФОТОАКТИВАЦИИ ДВУХФАЗНЫХ МИШЕНЕЙ ТОРМОЗНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЭНЕРГИЕЙ 20,5 МэВ

*Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Марескин С.А., Рахманов И.Б., Шварцман Н.Е.
(НИИ физики при Ростовском гос. ун-те)*

Возможности получения радионуклидов с помощью электронных ускорителей известны давно [1]. Особый интерес при этом вызывает использование изобарных цепочек для получения радионуклидов — генераторов целевых радионуклидов [2—4] и/или эффекта ядер отдачи [2, 4]. В последнем случае в (γ, n) -реакциях мож-

но получать нейтронодефицитные радионуклиды без применения трудоемких радиохимических операций. Так, в работе [4] изучены возможности получения ^{99}Mo и ^{99m}Tc высокой радионуклидной чистоты путем активации тормозным излучением микротрона 13 видов водных и водно-щелочных молибденсодержащих суспензий.

В настоящей работе экспериментально изучены возможности получения таким способом некоторых радионуклидов в водных растворах, на основе которых можно приготовить источники для калибровки гамма-спектрометрической аппаратуры по эффективности в области энергии 5—120 кэВ.

В качестве целевых выбирали радионуклиды — продукты фотоактивации, имеющие энергию излучения с высоким квантовым выходом как в области 5—120 кэВ (для калибровки аппаратуры по эффективности), так и свыше 120 кэВ (для аттестации источников по удельной активности) с периодом полураспада >2 сут, для которых известны (оценены) спектроскопические характеристики. Выбирали реакции фотоактивации с наибольшим выходом целевого радионуклида (с высоким содержанием стартового изотопа, низким энергетическим порогом E_n и большим сечением реакции). Исключали случаи, в которых кроме целевого радионуклида образуются мешающие радионуклиды с периодом полураспада близким или большим целевых радионуклидов. При энергии тормозного излучения $E_m = 20,5$ МэВ основной реакцией образования целевых радионуклидов является (γ, n) -реакция, среди реакций образования мешающих радионуклидов в большинстве случаев можно не учитывать $(\gamma, 2n)$ - и (γ, pn) -реакции, так как их порог $E_n \geq E_m$.

В растворе целевого радионуклида, используемого для приготовления калибровочного источника на основе природного материала, не должно быть значительного содержания стабильных изотопов, чтобы различия эффективных зарядов и плотности источника и счетного образца оставались в допустимых пределах. Оценки показывают, что при вариации содержания элементов в счетных образцах природных материалов в пределах от $n \times 0,1\%$ по массе (для тяжелых элементов) до $n \times 1\%$ по массе (для легких элементов) изменения коэффициентов самопоглощения квантов энергией 10—100 кэВ будут не более 1—2% (расчеты выполнены для почвы при введении в нее элементов от хрома до ртути). Для приготовления радиоактивного раствора с требуемой активностью целевого радионуклида необходимо получить при активации твердой мишени удельную активность целевого радионуклида $\geq 10^5$ Бк/г (при полном переводе активности в раствор). Поэтому изучали возможность получения радиоактивных растворов активацией двухфазных мишеней. В качестве материалов мишеней выбирали нерастворимые или труднорастворимые в воде соединения в дисперсной форме, смешанные с дистиллированной водой в соотношении 1:1 (суспензии).

Для перевода целевого радионуклида из твердой фазы в раствор желательно максимально использовать эффект выхода ядра отдачи из поверхностного слоя твердой фазы за счет его кинетической энергии. При энергии тормозного излучения $E_m = 20,5$ МэВ в (γ, n) -реакциях образуются ядра отдачи максимальной энергией E_0 от 65 кэВ (^{203}Hg) до 200 кэВ (^{54}Mn) и максимальным пробегом r_0 в твердой фазе от 0,0105 мкм (HgO) до 0,095 мкм (Mn_2O_3). Для $(\gamma, 2n)$ -реакций энергия ядер отдачи и пробег в твердой фазе еще меньше: 28 (^{105m}Ag), 29 (^{111}In), 44 кэВ (^{91m}Nb) и 0,0079 (Ag_2O), 0,0084 (In_2O_3) и 0,0168 мкм (Nb_2O_5) соответственно. Относительный

выход целевого радионуклида в раствор I будет тем больше, чем больше удельная поверхность твердой фазы (т.е. меньше радиус частиц R) и больше пробег ядра отдачи в твердой фазе r_0 . Если не учитывать распределения E_0 и соответственно r_0 и R , а принять только их максимальное и минимальное значения, т.е. $E_0 = E_m - E_n/A$ для (γ, n) -реакции и ядер с массовым числом A и $R_{\min}$, то для оценки относительного выхода можно использовать упрощенное соотношение $I \leq 0,75 r_0/R_{\min} \cdot 100\%$. В таблице приведены оценки максимальных значений выхода радионуклидов при $E_m = 20,5$ МэВ и $R_{\min} = 1$ мкм, принятого равным среднему радиусу пор уплотненного бумажного фильтра. Энергия стабильных атомов отдачи и пробег и выход соответственно за счет рассеяния электронов и квантов тормозного излучения будет в 10—15 раз для электронов и 40—65 раз для квантов меньше, чем r_0 .

Выход радионуклидов в раствор при фотоактивации двухфазных мишеней тормозным излучением с $E_m = 20,5$ МэВ и $I = 4$ мкА

Мишень, масса, г/ время облуче- ния, ч	Целевой радионуклид			Радиоактивный раствор			
	$T_{1/2}$, сут	E , кэВ (I , %)		A_p , кБк/л (δ , %)	Выход, %		
		< 100	> 100		Экспери- мент, рас- чет	Вклад атомов отдачи	Стабильные элементы, % по массе
MnO ₂ 7,6/20	⁵⁴ Mn, 312,5	5,43 (22,6), 5,95 (3,0)	834,8 (100)	5,7 (3)	6±0,3, <7,1	<100	0—0,04
NiO 7/20	⁵⁷ Co, 271,79	6,39 (16,9), 6,40 (33,4)	122,0 (85,6), 136,5 (10,6)	19,2 (1)	8,7±0,1, <4,1	<47	0,7—2,6
Co ₂ O ₃ 9,6/20	⁵⁸ Co, 70,78	6,40 (15,6)	810,8 (99,4)	115,7 (0,5)	9,1±0,1, <4,5	<50	7,3—10,8
ZnO 5,3/8	⁶⁵ Zn, 244,6	8,04 (34,1), 8,98 (4,6)	1115,6 (50,6)	4,4 (4)	5,8±0,3, <4,1	<71	1—2,3
Y ₂ O ₃ 6/20	⁸⁸ Y, 106,61	14,39 (61,5)	898,0 (91,9), 1836,1 (99,3)	25,5 (1)	9,3±0,1, <2,5	<27	2,8—3,3
MoO ₃ 11,7/8	⁹⁹ Mo+ ^{99m} Tc, 66 ч+6 ч	18,31 (9,8), 20,78 (2), 40,59 (11,0)	140,5 (103,6), 739,5 (14,6), 777,9 (5,2)	334,8 (0,3)	4,7±0,1, <2,9	<62	1,8—2,2
Ag ₃ PO ₄ 6,4/8	^{106m} Ag, 8,41	21,02 (20,3), 21,18 (20,3), 21,58 (72,5)	450,9 (28), 616,1 (21,3), 717,1 (28,9)	31,7 (0,3)	7,7±0,1, <1,7	<22	20,3—46,4
In ₂ O ₃ 11,3/8	^{114m} In+ ¹¹⁴ In, 49,51+71,9 с	24 (9,7), 24,21 (18,1), 27,58 (6)	190,3 (18,2), 558,4 (3,6), 725,3 (3,5)	32,9 (0,6)	3,3±0,1, <1,6	<49	0,2—0,3
CeO ₂ 10,1/20	¹³⁹ Ce, 137,63	33,24 (65,5), 38,1 (15,7)	165,8 (81)	20,3(1)	2,3±0,2, <1,4	<61	3,3—3,7
	¹⁴¹ Ce, 32,5	35,79 (13,6), 40,75 (1,8)	145,5 (49,1)	7,2 (3)	4,6±0,1, <1,7	<37	3,3—3,7
HgO 10,9/20	²⁰³ Hg, 46,51	70,83 (3,52), 72,87 (6,4), 82,5 (2,2)	279,2 (81,5)	74,3 (0,3)	6,8±0,1, <0,8	<12	0,5—0,7
PbO 30/8	²⁰³ Pb, 52 ч	70,83 (26,1), 72,87 (44,2), 82,99 (19,6)	279,2 (80,1), 401,3 (3,7)	3,5 (6)	1,0±0,1, <0,9	<90	0—0,003

Эффект выхода радионуклидов в раствор сопровождается процессами внутри твердой фазы (удержание, диффузия и др.), на границе раздела фаз (ионообменная сорбция, растворимость твердой фазы и др.) и при отделении радиоактивного раствора от твердой фазы (проскок частиц твердой фазы при фильтрации, адсорбция на материалах фильтра и осадка и др.). На эти процессы могут влиять тормозное излучение и вторичные электроны (возникновение зарядов на поверхности, изменение структуры поверхности, радиолиз воды и радиационно-химические реакции, изменение валентности и состояния радионуклидов в растворе). Некоторые из этих процессов приводят к переходу в раствор радиоактивных атомов вместе с атомами стабильных изотопов (растворение твердой фазы, проскок частиц через фильтр и др.). Количественно описать эти процессы в нашем случае невозможно. Целесообразно в эксперименте определить основные характеристики способа получения радиоактивных растворов (удельную активность целевого радионуклида в растворе и относительный выход из твердой фазы в раствор).

Двухфазные мишени активировали в выведенном из микротрона СТ-22 тормозном излучении, которое сформировано вольфрамовым радиатором толщиной 2 мм в пучке электронов энергией 21 МэВ и током 1,5—6,5 мкА. Кассеты с активируемым материалом размером 20×20 мм, толщиной от 5 до 20 мм (объем до 8 см³) устанавливали на оси пучка непосредственно за фильтром — поглотителем электронов из алюминия толщиной 45 мм. Интенсивность тормозного излучения на поверхности кассет однородна в пределах 15%. В такой геометрии в течение 5—20 ч активируются одновременно несколько 5—8 мишеней, причем имеется возможность их перестановки или замены между сеансами облучения. В кассеты помещали суспензии на основе твердой фазы массой 5—30 г. После активации и выдержки в течение 24 ч фазы мишеней разделяли с помощью фильтра «синяя лента». Кассеты твердой фазы и фильтры промывали дистиллированной водой и подкисленной соляной кислотой до pH 2. Общий объем полученного радиоактивного раствора доводили до 100 мл.

γ -Спектры активированных суспензий и радиоактивных растворов измеряли на радиометрической установке РЭУС-II-15 (рабочий эталон разряда II) в геометрии Д1 ($V = 0,1$ л), эффективность которой в зависимости от энергии в области 122—2500 кэВ аттестована с помощью стандартных источников γ -излучения в виде растворов типа СИГИ-Ж на основе ^{133}Ba , ^{152}Eu и ^{207}Bi удельной активностью $(4,5\text{—}6)10^5$ Бк/л (производства НПО «ВНИИФТРИ»). Измеряли спектры не менее 3 раз, в каждом отдельном измерении, как правило, случайная погрешность определения площадей фотопиков не превышала 1—3% при $P = 0,95$. По результатам измерения определяли удельную активность целевых радионуклидов в растворах A и относительный выход целевых радионуклидов из твердой фазы в раствор B (отношение A_p к удельной активности целевого радионуклида в суспензии A_c). Кроме того, периодически контролировали стабильность радиоактивного раствора (отсутствие седиментации взвешенных частиц, изменения активности раствора) и наличие мешающих радионуклидов в растворе.

Результаты предварительных экспериментов (частично опубликованы [5, 6]) позволили уточнить приемлемые условия получения некоторых целевых радионуклидов в растворе. Всего в экспериментах было активировано 25 соединений 19 химических элементов для оценки возможности получения растворов 23 целе-

вых радионуклидов, в том числе ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{65}Zn , ^{75}Se , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{89}Zr , $^{92\text{m}}\text{Nb}$, ^{99}Mo , $^{106\text{m}}\text{Ag}$, $^{114\text{m}}\text{In}$, $^{120\text{m}}\text{Sb}$, ^{122}Sb , ^{125}Sb , ^{131}Ba , ^{133}Ba , ^{136}Cs , ^{139}Ce , ^{141}Ce , ^{203}Hg и ^{203}Pb . По результатам предварительных экспериментов из числа материалов мишеней были исключены NiSO_4 вследствие взаимодействия с материалом кассет, изменения химической формы, SrSO_4 , BaO , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, BaSO_4 , TeO_2 вследствие наличия в растворах мешающих радионуклидов, а также Se , ZrO_2 , Nb_2O_5 вследствие низкой удельной активности целевых радионуклидов <100 Бк/л. Из материалов для кассет исключена нержавеющая сталь, в результате фотоактивации которой в раствор переходят ^{51}Cr , ^{57}Ni , ^{57}Co , $^{87\text{m}}\text{Sr}$, ^{89}Zr , $^{117\text{m}}\text{Sn}$ и др. В последующих экспериментах использовали кассеты из полиэтилена высокого давления.

Относительный выход целевого радионуклида из одного и того же соединения в некоторых случаях существенно повышается (до 30%) при росте как дисперсности твердой фазы из-за увеличения ее удельной поверхности и, возможно, проскока частиц через фильтр, так и кислотности промывной воды из-за увеличения растворимости твердой фазы.

Данные об основных условиях и результатах последней серии экспериментов по получению 12 радионуклидов в растворах при фотоактивации 11 мишеней в пучке тормозного излучения приведены в таблице (радионуклиды, для которых в предварительных экспериментах $A_p > 3 \cdot 10^3$ Бк/л). Можно также изучить возможности получения большей удельной активности ^{51}Cr , ^{85}Sr , ^{89}Zr , для которых в первых экспериментах получены удельная активность $(0,16\text{—}1,49)10^3$ Бк/л и относительный выход 0,1—0,4%. Материалы для мишеней до помещения в кассеты просеивали через сито 200 меш (максимальный диаметр частиц 74 мкм). Фазы разделяли с помощью трехслойного фильтра (белая лента, синяя лента, АФА). Радиоактивные растворы имели pH 4—5. В остальном условия эксперимента были такими же, как в предварительных экспериментах.

Среди использованных для мишеней соединений большинство нерастворимы в воде. Малая растворимость при 20 °C характерна для MoO_3 (0,138 г/100 мл), HgO (0,051 г/100 мл), PbO (0,0017 г/100 мл) и ZnO (0,00016 г/100 мл). За счет этого в радиоактивный раствор перейдут стабильные изотопы Mo (~0,14%), Hg (0,05%), Pb ($2 \cdot 10^{-3}\%$) и Zn ($2 \cdot 10^{-4}\%$). Кроме того, в 100 мл раствора активность целевых радионуклидов, обусловленная конечной растворимостью мишеней, составит, Бк: Mo ~ $4,8 \cdot 10^3$, ^{203}Hg $5,2 \cdot 10^2$, ^{203}Pb ~2 и ^{65}Zn ~0,2 (оценивали с учетом измерения удельной активности этих радионуклидов в твердой фазе). Удельная активность целевых радионуклидов в растворе увеличилась за счет растворимости твердой фазы для ^{99}Mo на 14,5%, для ^{203}Hg на 7%. Относительный выход этих радионуклидов за счет растворимости твердой фазы для ^{99}Mo ~0,68% и ^{203}Hg ~0,47%.

Использованные соединения реагируют с соляной кислотой. Некоторая часть частиц твердой фазы проходит через фильтр. За счет этого часть твердой фазы мишени переходит в раствор. При изменении условий конечного эксперимента по сравнению с условиями предварительных экспериментов (переход от pH 2 к pH 4—5 и от однослойного фильтра к трехслойному) относительный выход целевых радионуклидов уменьшился примерно в 1,5 раза для NiO , Co_2O_3 и в 2,6 раза для Hg. Вклад атомов отдачи в относительный выход целевых радионуклидов достаточно высок для ^{54}Mn , ^{203}Pb , ^{65}Zn , ^{99}Mo , ^{139}Ce , ^{58}Co и ^{114}In (см. таблицу).

Стабильные элементы в радиоактивные растворы переносились за счет растворения твердой фазы в кислой среде и за счет проскока ее частиц через фильтры. Содержание элементов в полученных растворах ($\Delta m/m_1$, %) оценивали по разности измеренного и вычисленного относительного выхода с учетом удельной активности твердой фазы и по разности массы твердой фазы до облучения и после разделения фаз облученной мишени (см. таблицу). Обе оценки в большинстве случаев согласуются, если учесть их неопределенность. По содержанию стабильного элемента в растворе $\Delta m/m$ выше допустимого может быть раствор на основе ^{58}Co (7,3—10,8%) и особенно раствор на основе ^{106m}Ag (20,3—46,4%).

Полученные радиоактивные растворы пригодны для калибровки спектрометрической аппаратуры по эффективности в области энергии 5—120 кэВ (за исключением раствора на основе ^{106m}Ag). Желательно повысить удельную активность ^{54}Mn , ^{65}Zn и ^{203}Pb в растворах. Для приготовления стандартных источников γ -излучения затруднительно использовать радионуклиды с $T_{1/2} < 10$ сут (^{99}Mo , ^{106m}Ag , ^{203}Pb). Кроме того, для ^{203}Pb удельная активность низка вследствие низкого содержания стартового стабильного изотопа ^{204}Pb . Удельная активность ^{65}Zn и ^{114m}In может быть увеличена до 11 и 82 Бк/л соответственно за счет повышения времени облучения до 20 ч (как и для большинства других мишеней). ^{57}Co , как и в работе [3], получали как по реакции $^{58}\text{Ni}(\gamma, n) ^{57}\text{Ni} \rightarrow ^{57}\text{Co}$, так и $^{58}\text{Ni}(\gamma, p) ^{57}\text{Co}$. Для приготовления двух стандартных образцов источников γ -излучения на основе природного материала (почвы) использованы полученные растворы с ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{114m}In вместе с растворами централизованной поставки на основе ^{133}Ba и ^{207}Bi (первый источник) и растворы с ^{58}Co , ^{88}Y , ^{139}Ce , ^{141}Ce , ^{203}Hg (второй источник).

При использовании приготовленных источников для аттестации спектрометрической аппаратуры необходимо вводить поправку на распад радионуклида за время, прошедшее с момента аттестации радиоактивного раствора.

Отделенная твердая фаза с активностью радионуклидов $9 \cdot 10^3$ — $7 \cdot 10^5$ Бк может быть использована для приготовления источников для калибровки шкалы энергии гамма-спектрометров. Она может быть использована и в качестве материала мишени в повторных сеансах получения радиоактивных растворов.

Экспериментальные результаты настоящей работы подтверждают, что при относительной простоте способа получения радионуклидов в растворе фотоактивацией двухфазных мишеней тормозным излучением электронных ускорителей в некоторых случаях можно получить приемлемую удельную активность целевых радионуклидов, достаточную радионуклидную чистоту и приемлемое содержание стабильных элементов-носителей. Имеются возможности получения этим способом других радионуклидов и увеличения удельной активности радионуклидов за счет как изменения условий активации (увеличения массы мишеней, тока пучка ускорителя, времени активации), так и роста относительного выхода радионуклида в раствор (выбором химической формы и дисперсности твердой фазы, повышением эффективности процесса разделения фаз).

Авторы выражают благодарность В.М. Королю за расчет пробега атомов отдачи.

На начальном этапе работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования РФ и Министерства РФ по атомной энергии по направлению «Научно-инновационное сотрудничество» (проект 6.09.2001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mc Gregor M.N. Linear accelerators as radioisotopes producers. — *Nucleonics*, 1957, v. 15(1), p. 176—180.
2. Горенко А.Ф., Инопин Е.В., Северин Н.Ф., Сторишко В.Е. Некоторые вопросы производства изотопов без носителей на линейных ускорителях электронов. — *Вопросы атомной науки и техники. Сер. Общая и ядерная физика*, 1981, вып. 2(16), с. 62—64.
3. Ганжа А.П., Давыдов М.Г., Шварцман Н.Е. Возможности производства кобальта-57 на электронных ускорителях. — *Изотопы в СССР*, 1986, вып. 2(71), с. 13—16.
4. Давыдов М.Г., Марескин С.А. О возможности получения ^{99}Mo и ^{99m}Tc на ускорителях электронов. — *Радиохимия*, 1993, № 5, с. 91—96.
5. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Рахманов И.Б., Шварцман Н.Е. Получение радионуклидов-реперов методом фотоактивации двухфазных мишеней на тормозном излучении микротрона СТ. — В сб.: *Научно-инновационное сотрудничество. Научно-техн. конф. М., МИФИ, 2002, т. 2, с. 74—75.*
6. Бураева Е.А., Давыдов М.Г., Рахманов И.Б., Шварцман Н.Е. Получение радиоактивных растворов радионуклидов-реперов на тормозном излучении микротрона СТ для калибровки эффективности полупроводниковых детекторов в области энергий <120 кэВ. Тезисы докл. I Всерос. конф. «Аналитические приборы». С.-Петербург, РАН, 2002, с. 266—267.

Поступила в Редакцию 19.02.03

УДК 621.039.586

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАТНОСТИ ОСЛАБЛЕНИЯ СЛОЕМ ВОЗДУХА γ -ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ МЕСТНОСТИ

Садовников Р.Н., Фролов Д.В., Шмелев А.Е. (ЦНИИ МО РФ)

Аварийные ситуации, связанные с разгерметизацией активной зоны реактора, обуславливают образование обширных по площади районов загрязнения. Необходимость полного выявления обстановки для определения параметров загрязнения и, в первую очередь, конфигурации опасных для проживания зон требует значительного числа специализированных комплексов наземной и воздушной радиационной разведки местности.

Одним из путей сокращения времени выявления обстановки в условиях недостатка специализированных комплексов может быть ведение радиационной разведки с помощью носимых измерителей мощности дозы, например, типа МКС-01Р, размещенных на летательных аппаратах. Естественно, что суммарная погрешность измерения при этом увеличится. Однако такой подход позволит оперативно определять общее расположение опасных зон радиоактивного загрязнения местности, что обеспечит на последующем этапе более эффективное использование специализированных средств разведки.

Использование неспециализированных средств для ведения воздушной радиационной разведки требует знания кратности ослабления $K(h)$ γ -излучения слоем воздуха, равным высоте полета летательного аппарата:

$$K(h) = P(1)/P(h),$$