

## КОНТРОЛЬ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ОРГАНИЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ФГУП «ПО «МАЯК»

*А. Е. Дементьева, К. Ю. Мокров*

ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск

ФГУП «ПО «Маяк» расположено на севере Челябинской области в районе г. Кыштыма и г. Касли на территории ЗАТО г. Озёрск (рис. 1). В состав ЗАТО г. Озёрск входят населённые пункты: г. Озёрск (население 85 тыс. чел.), пос. Новогорный

(7100 чел.), пос. Метлино (4100 чел.) и др. [1]. Основные производственные подразделения предприятия, работа которых связана с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ, расположены на изолированной промышленной площадке (ПП), которая имеет

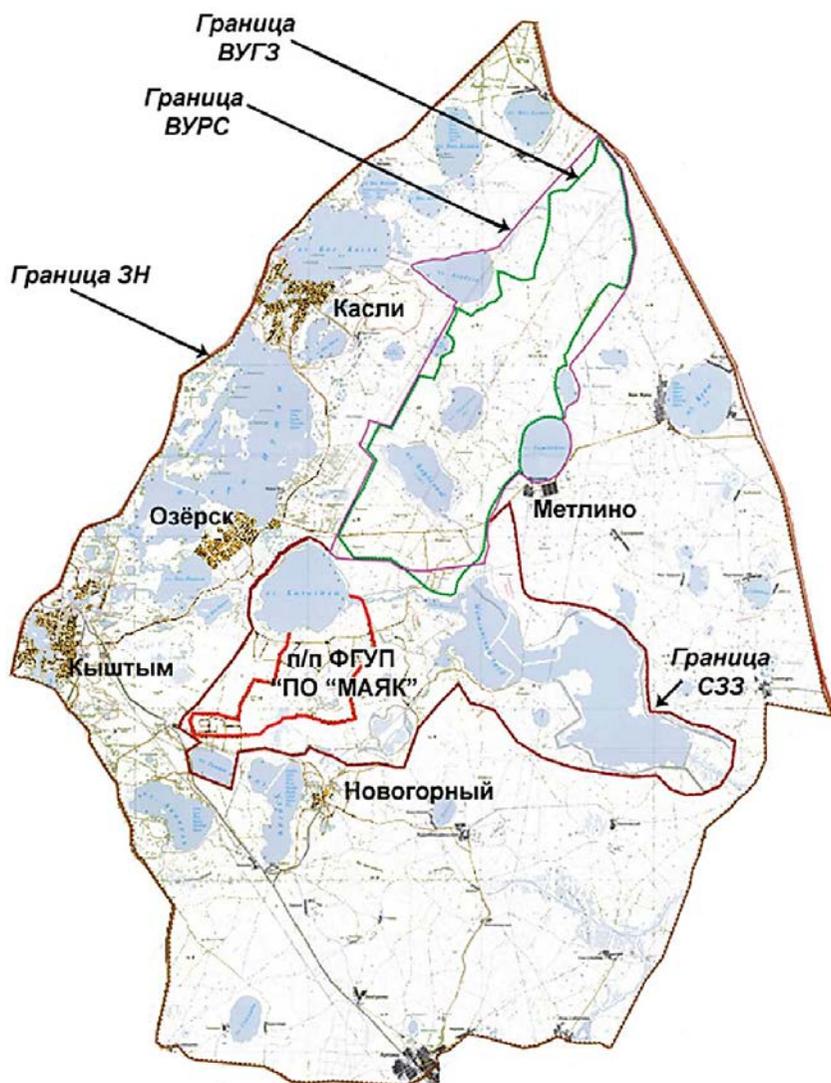


Рис. 1. Карта-схема территории зоны наблюдения ФГУП «ПО «Маяк»

площадь ~250 км<sup>2</sup>. Границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ) совпадают с границами ПП, а зона наблюдения (ЗН) имеет площадь ~1800 км<sup>2</sup>.

На предприятии расположены следующие производства атомной промышленности: реакторное, радиохимическое, химико-металлургическое, изотопное, химическое и различные вспомогательные подразделения [1]. В результате их деятельности в атмосферу выбрасывается широкий спектр радионуклидов активационного и осколочного происхождения. Для реакторного производства характерен выброс инертных радиоактивных газов (ИРГ), изотопов йода и нуклидов активационного происхождения (<sup>51</sup>Cr, <sup>60</sup>Co и др.), для химико-металлургического производства – выброс долгоживущих нуклидов группы актиноидов (уран, плутоний и др.), для изотопного и радиохимического производства – выброс изотопов плутония (<sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu), стронция (<sup>90</sup>Sr), цезия (<sup>137</sup>Cs) и ряда других нуклидов осколочного происхождения [1].

Таким образом, в условиях совместного выброса нуклидов с различными радиационными характеристиками и большим числом высоких источников может формироваться сложная картина загрязнения прилегающей территории.

В современной системе нормирования выбросов основным параметром является предельно допустимый выброс (ПДВ) [2].

Значение ПДВ определяется на основе совокупного действия всех радионуклидов и ИВ предприятия и для каждого ИВ численно равно выбросу, при котором в «критической точке» (точке с максимальным совокупным дозовым воздействием) годовая доза облучения достигает своего предела с учётом всех путей внешнего и внутреннего облучения.

В работе приведены результаты контроля выбросов радионуклидов в атмосферу из труб предприятия за 2021 г. в сравнении с установленными нормативами ДВ.

## Характеристика источников выбросов

В каждом структурном подразделении предприятия, где проводятся работы с радиоактивными веществами (РВ) и/или радиоактивными отходами (РАО), неизбежно образуются источники выделения газообразных радиоактивных отходов, которые после газоочистки подлежат удалению в атмосферу через высокие и/или низкие трубы (источники выбросов) в атмосферный воздух. Параметры ИВ ФГУП «ПО «Маяк» определены и обобщены по итогам инвентаризации, проведённой в 2018 г. (табл. 1) [1]. Для каждого источника задаются его технологические характеристики: объёмный расход и температура выбрасываемой газовой смеси (ГВС), высота и диаметр устья трубы, а также координаты расположения ИВ в локальной системе координат.

Все ИВ предприятия условно разделены на две группы:

1. Высокие (до 150 м) ИВ, зона влияния которых распространяется далеко за пределы ПП предприятия (до 50–100 км);

2. Низкие (на уровне высоты ближайшего здания) ИВ, выбросы которых частично или полностью попадают в зону аэродинамической тени от близлежащих зданий в районе ПП.

Часть высоких и низких ИВ являются многоствольными, т.е. в полости источника большего диаметра расположено несколько источников с меньшими диаметрами. По режиму работы ИВ принято разделять на:

– вентиляционные выбросы непрерывного действия из помещений ПП зоны, которые характеризуются малой объёмной активностью (ОА) при больших валовых объёмах выброса ГВС;

– технологические выбросы (сдувки) периодического действия, которые характеризуются более высокими значениями ОА, но малым расходом ГВС.

На выброс в высокие ИВ, как правило, направляются наиболее мощные технологические сдувки и максимальные по объёму вентиляционные выбросы.

*Количество источников выброса радионуклидов в атмосферу в различных подразделениях ФГУП «ПО «Маяк» (2018 г.) [1]*

Подразделение	Количество источников выброса	
	Высокие	Низкие
Реакторный завод (РЗ)	4	4
Радиохимический завод (РХЗ)	16	345
Химико-металлургический завод (ХМЗ)	5	22
Радиоизотопный завод (РИЗ)	1	5
Химический завод (ХЗ)	5	–
Служба экологии (СЭ)	–	–
Центральная заводская лаборатория (ЦЗЛ)	–	5
<b>ВСЕГО</b>	<b>31</b>	<b>381</b>

В низкие источники главным образом поступает вентиляционный воздух из помещений II и III зон небольших производственных и административных зданий, складов, отделений хранения продукции, бытовых помещений, санпропускников, спецпрачечных, механических мастерских, сдувок «дыхания» мерного хозяйства. Высота таких источников составляет от 2 до 30 м от уровня земли. Почти все они расположены на крышах корпусов либо выходят с торцевых частей зданий.

### **Характеристика системы газоочистки**

Функционирующая на предприятии современная система газоаэрозольной очистки (СГАО) состоит из нескольких тысяч аппаратов и полностью отвечает передовому научно-техническому уровню не только в стране, но и в мире. Для очистки выбрасываемых в атмосферу газозооных смесей (ГВС) на ФГУП «ПО «Маяк» используются различные технологические процессы и устройства, обеспечивающие гарантиро-

ванное выполнение нормативов очистки (эффективность систем газоаэрозольной очистки достигает 99,999 %):

1. Выдержка радиоактивных газов в газгольдерах высокого и низкого давления для снижения активности короткоживущих изотопов до допустимого уровня;
2. Очистка радиоактивных аэрозолей с использованием фильтрующих установок;
3. Улавливание радиоактивных летучих форм изотопов йода с помощью сорбционных колонн.

Многоступенчатая СГАО основана на использовании различных физико-химических процессов и в зависимости от типа технологических источников выделения и физико-химической формы РН может включать: СОТАР (суперосадитель тонких аэрозолей с регенерацией), ФАРТОС (фильтр аэрозольный регенерируемый тонкой очистки стекловолокнистый), ФАС (фильтр аэрозольный самоочищающийся), ФПА (фильтр Петрянова ацетилцеллюлозный), ФПП (фильтр Петрянова перхлорвиниловый), угольные колонны (УК) и др.

На предприятии проходит постоянная модернизация системы очистки с применением новых, более эффективных моделей фильтров и материалов, которые в соответствии с требованиями федеральных норм и правил не поддерживают горение. Все основные газоочистные аппараты, как правило, дублированы. Выброс в атмосферу очищенного воздуха осуществляется через высокие (до 150 м) трубы (ВТ) после прохождения СГАО. При этом практически все радионуклиды, находящиеся в традиционной аэрозольной форме (с размером частиц более 0,3 мкм), задерживаются системой газоочистки.

### **Организация системы контроля выбросов**

Для определения мощности выброса РВ из ИВ, как правило, используются прямые инструментальные методы с отбором проб ГВС за время от нескольких часов до 10 сут с последующим лабораторным анализом содержания радионуклидов в пробах. Инструментальные методы анализа отобранных проб (спектрометрические, радиометрические) применяются в соответствии с отраслевыми стандартами, руководящими документами и методиками предприятия и используются для всех высоких ИВ, подлежащих постоянному штатному контролю. Для смеси  $\alpha$ -излучающих радионуклидов методами радиометрии определяется их суммарная активность без определения радионуклидного состава смеси. При этом, в соответствии с консервативными принципами, вся активность приписывается  $^{239}\text{Pu}$  как наиболее радиотоксичному радионуклиду. Если измеряемая в пробе активность  $\gamma$ -излучающих нуклидов ниже предела обнаружения, измеряется скорость счёта  $\beta$ -частиц с последующим приписыванием суммарной активности пробы  $^{90}\text{Sr}$  как наиболее радиотоксичному из  $\beta$ -излучающих нуклидов.

С точки зрения оценки дозового воздействия выбросов на население прилегающих районов такой учёт суммарной активности

$\alpha$ -,  $\beta$ -излучателей носит консервативный (завышенный) характер. Однако для оперативного контроля работы технологического оборудования газоочистных систем существующая система вполне себя оправдывает как с методической стороны, так и с точки зрения измерений.

Объёмная активность инертных радиоактивных газов (ИРГ) на РЗ определяется как в статическом режиме работы (методами у-спектрометрии путём измерения проб газа, отбираемых в кюветы), так и в динамическом режиме с помощью ионизационных камер проточного типа.

Расчётный метод используется на РХЗ для определения мощности выброса трития и  $^{85}\text{Kr}$ , выделяющихся при растворении облучённого ядерного топлива.

Система контроля выбросов (СКВ) РН в атмосферу предназначена для:

1. Контроля соблюдения нормативов ПДВ и ДВ;
2. Обнаружения источников повышенных и аварийных выбросов;
3. Контроля работы технологического оборудования и СГАО; контроля загрязнения ПСА на территории ПП и зоны наблюдения (ЗН);
4. Оценки опасности аварийных выбросов РВ для населения и объектов окружающей среды (ОС).

Конечной целью контроля загрязнения ОС является уменьшение ущерба здоровью людей и биоте. Система контроля соблюдения нормативов ПДВ и ДВ на ПО «Маяк» включает:

5. Непрерывный контроль выбросов РВ в атмосферу на всех высоких и дающих максимальный вклад в суммарную мощность выброса низких источниках;
6. Периодический контроль выбросов РВ из маломощных низких источников;
7. Инспекционный контроль выбросов РВ в рамках специальных программ и исследовательских работ;
8. Постоянный контроль содержания РВ в воздухе рабочей зоны производственных

помещений, из которых примесь по системам вентиляции поступает в атмосферу;

9. Постоянный контроль уровня загрязнения ПСА с непрерывным отбором проб воздуха и с последующим определением ОА радиоактивных аэрозолей на территории всех основных подразделений ФГУП «ПО «Маяк» с использованием стационарных воздухозаборных установок;

10. Постоянный контроль уровня загрязнения ПСА с непрерывным отбором проб воздуха и последующим определением ОА радиоактивных аэрозолей в пунктах контроля на территории ПП (СЗЗ) и в ЗН с использованием конусов (индикаторный метод);

11. Постоянный контроль выпадений (отложений на почву) радиоактивных аэрозолей на территории каждого подразделения, а также в СЗЗ и ЗН с использованием планшетов и сравнение результатов с установленными административными пределами;

12. Периодический и инспекционный контроль состояния ПСА на территории ПП (СЗЗ) и в ЗН с использованием передвижных постов контроля;

13. Постоянный контроль выбросов с использованием объектовых автоматизированных систем контроля технологических процессов.

Например, на РХЗ для контроля технологических параметров газоочистных систем, систем вентиляции воздуха и выбросов радионуклидов в атмосферу используют двухуровневую систему контроля:

а) Технологический оперативный контроль осуществляется в реальном режиме времени с использованием автоматизированной системы радиационного контроля МАИС, которая предусматривает проведение относительных интегральных измерений активности (скорости счёта) суммы  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучающих нуклидов, накопленной на аналитическом аэрозольном фильтре (АФ) с помощью устройств детектирования. Альфа-,  $\beta$ - и  $\gamma$ -частицы, испускаемые радионукли-

дами, накопленными на фильтре, регистрируются специальными детекторами, преобразуются в импульсы тока, а информация о скорости счёта передаётся в автоматизированную систему. Далее информация обрабатывается и поступает на верхний уровень системы (автоматизированное рабочее место оператора). Вся информация накапливается в компьютерной базе данных (архивируется) и может быть представлена в виде таблиц, графиков и диаграмм.

б) Штатный контроль выбросов предусматривает непрерывный отбор из контролируемого воздушного потока небольшой части объёма воздуха через специальную пробоотборную трубку (систему), накопление радиоактивных аэрозолей на АФ, периодическую замену фильтра, проведение в лабораторных условиях спектрометрических измерений активности отдельных радионуклидов, накопленных на АФ, и расчёт значений интегральных выбросов за время экспозиции фильтра.

## Нормирование выбросов

По результатам инвентаризации ИВ было показано [1], что на ФГУП «ПО «Маяк» действует 31 высокий источник выбросов, откуда в атмосферу поступает 28 радионуклидов, и 381 низкий источник выбросов, через которые в атмосферу поступает 9 радионуклидов. Показано, что для высоких ИВ наибольший вклад по выбрасываемой активности практически по всем нуклидам вносит РХЗ [3]. Обоснование нормативов ПДВ проведено по критерию годовой индивидуальной эффективной дозы (ЭД). Дополнительно выполнена оценка значений эквивалентных доз на отдельные критические органы (поверхность кожи, хрусталик глаза, кисти рук и стопы), показана справедливость подхода к обоснованию нормативов ПДВ на основе годовой ЭД. Установлены сопряжённые нормативы (ДВ) и административные пределы – контрольный уровень выброса (КУВ) [3].

В соответствии с методикой [2], ПДВ устанавливаются для каждого ИВ организации, суммарный выброс которого создаёт без учёта рассеивания в атмосфере ЭД более 10 мкЗв, и для всех радионуклидов, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны ОС, суммарный вклад которых в годовую ЭД облучения лиц из критической группы населения, создаваемую выбросом этого источника, составляет не менее 99 %. В рамках обоснования нормативов ПДВ на предприятии выполнена проверка данных условий и показана необходимость нормирования выбросов из всех высоких источников. Перечень нуклидов, подлежащих нормированию и контролю, представлен в табл. 2. Остальные нуклиды, чей относительный вклад в полную ЭД облучения населения составляет менее 1 %, подпадают под условия отсутствия необходимости установления нормативов ПДВ и, соответственно, освобождения от осуществления производственного контроля.

Значения ДВ устанавливаются для каждого нуклида:

1. От двух до десяти раз ниже соответствующих ПДВ для высокого ИВ;
2. От 10 до 1000 раз ниже соответствующих ПДВ для низкого ИВ.

Для обеспечения условий, при которых радиационное воздействие от выбросов будет гарантированно ниже допустимого, и для оперативного реагирования на изменение радиационной обстановки на предприятии утверждаются административные пределы (КУВ). Значения КУВ устанавливаются с учётом уже достигнутого уровня радиационного воздействия на предприятии, эффективности мероприятий по улучшению радиационной обстановки и результатов радиационного контроля, включая данные о динамике выбросов с учётом их неравномерности во времени, об условиях работы, о состоянии ПСА и подстилающей поверхности, других объектов ОС.

В пределах установленных КУВ администрацией предприятия и отдельного

Таблица 2

*Выбросы РВ из труб ФГУП «ПО «Маяк» за 2019–2021 гг.  
в сравнении с нормативами ДВ, Бк/год*

Радионуклид	ДВ, Бк	Годовой выброс РВ, Бк		
		2019 г.	2020 г.	2021 г.
$^3\text{H}$	$1,90 \cdot 10^{16}$	$1,53 \cdot 10^{15}$	$1,47 \cdot 10^{15}$	$1,27 \cdot 10^{15}$
$^{41}\text{Ar}$	$5,83 \cdot 10^{14}$	$2,38 \cdot 10^{13}$	$2,69 \cdot 10^{13}$	$2,81 \cdot 10^{13}$
$^{85}\text{Kr}$	$4,07 \cdot 10^{17}$	$4,10 \cdot 10^{16}$	$4,20 \cdot 10^{16}$	$4,19 \cdot 10^{16}$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	$2,19 \cdot 10^{14}$	0	0	$1,80 \cdot 10^{11}$
$^{133}\text{Xe}$	$4,66 \cdot 10^{14}$	0	$1,44 \cdot 10^{11}$	$2,00 \cdot 10^{12}$
$^{135}\text{Xe}$	$3,21 \cdot 10^{14}$	$2,62 \cdot 10^{12}$	$2,91 \cdot 10^{12}$	$6,79 \cdot 10^{12}$
$^{60}\text{Co}$	$6,96 \cdot 10^8$	$7,13 \cdot 10^5$	$2,79 \cdot 10^5$	$1,47 \cdot 10^5$
$^{90}\text{Sr}$	$9,55 \cdot 10^{10}$	$3,56 \cdot 10^8$	$4,08 \cdot 10^8$	$3,56 \cdot 10^8$
$^{95}\text{Zr}$	$1,09 \cdot 10^9$	$6,52 \cdot 10^5$	$3,08 \cdot 10^5$	$5,30 \cdot 10^6$
$^{95}\text{Nb}$	$4,45 \cdot 10^8$	$6,52 \cdot 10^5$	$3,08 \cdot 10^5$	$5,30 \cdot 10^6$

Радионуклид	ДВ, Бк	Годовой выброс РВ, Бк		
		2019 г.	2020 г.	2021 г.
$^{106}\text{Ru}$	$4,05 \cdot 10^{10}$	$6,79 \cdot 10^8$	$6,96 \cdot 10^8$	$1,77 \cdot 10^8$
$^{125}\text{Sb}$	$3,48 \cdot 10^9$	$4,66 \cdot 10^7$	$2,27 \cdot 10^7$	$2,26 \cdot 10^7$
$^{131}\text{I}$	$7,48 \cdot 10^{11}$	$6,86 \cdot 10^7$	$4,58 \cdot 10^7$	$5,67 \cdot 10^7$
$^{134}\text{Cs}$	$1,08 \cdot 10^{10}$	$3,61 \cdot 10^7$	$4,56 \cdot 10^7$	$5,67 \cdot 10^7$
$^{137}\text{Cs}$	$6,83 \cdot 10^{10}$	$9,19 \cdot 10^8$	$1,46 \cdot 10^9$	$1,42 \cdot 10^9$
$^{144}\text{Ce}$	$1,36 \cdot 10^{10}$	$2,72 \cdot 10^7$	$1,26 \cdot 10^8$	$1,74 \cdot 10^8$
$^{129}\text{I}$	$4,79 \cdot 10^{11}$	$2,58 \cdot 10^{10}$	$3,49 \cdot 10^{10}$	$5,12 \cdot 10^{10}$
$^{239}\text{Pu}^*$	$1,03 \cdot 10^{10}$	$7,41 \cdot 10^8$	$5,44 \cdot 10^8$	$5,23 \cdot 10^8$

Примечание. \* Сумма  $\alpha$ -излучающих радионуклидов

структурного подразделения могут устанавливаться эксплуатационные КУВ (для отдельных источников и/или их совокупности): годовые, месячные, декадные, суточные, исходя из изложенных выше принципов, с учётом текущего уровня выбросов для отслеживания работы производства, в соответствии с регламентом, предотвращения нештатных ситуаций и оперативного реагирования на их возникновение.

### Результаты контроля выбросов

В табл. 2 приведены результаты контроля выбросов РВ в атмосферу в 2021 г. в сравнении с установленным допустимым выбросом (ДВ) и выбросами за 2019 и 2020 гг.

Из табл. 2 видно, что годовые выбросы РВ не превышают установленных для предприятия нормативов ДВ и находятся на среднемноголетнем уровне.

В работе [3] было показано:

1. Дозовое воздействие на население прилегающих к предприятию населённых пунктов от текущих выбросов РН в атмосферу не превышает:

– 1,2 % от ПД для населения на внешней границе ПП (СЗЗ) предприятия;

– 0,46 % от ПД для населения в пос. Новогорный;

– 0,30 % от ПД для населения пос. Метлино, пос. № 2, пос. Сарыкульмяк, пос. Худайбердинск, пос. Башакуль;

– 0,20 % от ПД для населения г. Озёрска, пос. Большой Куяш, пос. Аргаяш;

– 0,10 % от ПД для населения г. Кыштыма и г. Касли.

2. Выбросы РВ из всех низких источников заводов ФГУП «ПО «Маяк» (даже при условии постоянного пребывания персонала в «критической точке») не создают дозовых нагрузок, превышающих ПД для персонала.

3. Дозовое воздействие на население от текущих выбросов РН в атмосферу из низких источников ЦЗЛ (территориально расположенной на локальной ПП в центральной части г. Озёрска), не превышает  $1 \cdot 10^{-7}$  % от ПД для населения.

## Выводы

1. Приведена краткая характеристика действующей на ФГУП «ПО «Маяк» системы газоаэрозольной очистки и системы контроля выбросов радиоактивных веществ в атмосферу по результатам инвентаризации (2018 г.) всех организованных источников выброса (труб) предприятия.

2. Приведены результаты расчёта нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу, и оценены максимально возможные значения эффективной дозы облучения персонала и населения от текущих регламентных выбросов. Расчёты выполнены при использовании ряда консервативных (завышающих конечный результат) предположений для районов с максимальной приземной концентрацией, при наихудших метеорологических параметрах атмосферы.

3. Показано, что даже при всех консервативных предположениях, максимальная эффективная доза облучения населения от выбросов пренебрежимо мала и не превышает ~5 мкЗв/год (0,5 % от ПД для населения).

4. Показано, что в 2021 г. выбросы всех радионуклидов в атмосферу были на уровне предыдущих лет, существенно ниже установленных значений допустимых выбросов, и практически не влияли на радиационную обстановку в районе расположения предприятия.

## Список литературы

1. Результаты инвентаризации источников выбросов радиоактивных веществ в атмосферу на ФГУП «ПО «Маяк» за 2017 год: Отчёт / ФГУП «ПО «Маяк»; Исп. Д. А. Берегич, К. Ю. Мокров. – Озёрск, 2018. – 101 с.

2. Методика разработки и установления нормативов предельно допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух. Утв. приказом Ростехнадзора от 07.11.2012 № 639. Зарег. в Минюсте РФ 18.01.2013 № 26595. Вступил в силу 12.04.2013. Офиц. текст: по сост. на 01.06.2019. – М-во юстиции России, 2019.

3. Обоснование нормативов предельно допустимых выбросов радионуклидов в атмосферный воздух из источников ФГУП «ПО «Маяк» на период с 01.01.2020 по 31.12.2026. (Проект нормативов), Пояснительная записка, Исп. Д. А. Берегич, И. И. Тепляков, К. Ю. Мокров. – Озёрск, 2019. – 101 с.