

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ СО СЛАБОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ РОССИИ

В.Л.Высоцкий, ИБРАЭ РАН

Целесообразность введения категории очень низкоактивных отходов обоснована и нашла практическое применение на объектах ядерной энергетики во Франции, Великобритании, Швеции, Италии, однако не принята в США, Бельгии, Финляндии, Германии. В России первая попытка выделения подобной категории была сделана при подготовке ОСПОРБ-99 [1]. К следующему этапу можно отнести результаты российско-норвежско-шведских исследований, которые рассматривались на КЭГ в г. Стокгольме 26–27 апреля 2006 г. Там было отмечено, что введение в России по примеру некоторых европейских стран дополнительной категории отходов – очень низкоактивных отходов (ОНАО) – будет содействовать эффективному и экономичному обращению с большими объемами РАО, особенно образующихся на радиационно-загрязненных объектах типа губы Андреева и п. Гремиха. В настоящее время результаты этих исследований внедрены в гигиенические требования по обращению с промышленными отходами на ФГУП «СевРАО» [2].

Решение проблемы утилизации и реабилитации бывших ядерно- и радиационно-опасных объектов ВМФ в Северо-Западном регионе России, несомненно, требует четкой классификации РАО, конкретизации всех этапов обращения с промышленными отходами и условий освобождения материалов, содержащих незначительное количество радиоактивных веществ, от регулирующего контроля. Следует отметить, что твердые радиоактивные отходы (ТРО) от утилизации и реабилитации относятся к отходам длительной выдержки и содержат 50–70% ^{137}Cs , 10–20% ^{90}Sr , 5–15% ^{60}Co , 1–5% ^{54}Mn , ^{134}Cs . Практически

везде отсутствует значимое загрязнение α -излучающими нуклидами [3,4]. Поэтому, сравнивая различные подходы обращения с РАО, в первую очередь следует ориентироваться на ^{137}Cs , ^{90}Sr и учитывать влияние ^{60}Co . По объему до 90% ТРО относятся к НАО, до 10% составляют CAO и не более 1% – ВАО. Отходы считают радиоактивными, если минимально значимые уровни удельной активности (МЗУА) входящих в них радионуклидов превышают значения, определенные НРБ-99. РАО подразделяют на три категории (табл. 1, 2 [5]).

Отходы, содержащие техногенные радионуклиды с активностью менее МЗУА, относят к промышленным отходам, часть из которых вывозят для окончательного захоронения на городские полигоны (мощность дозы с фоном менее 0,3 мкГр/ч), а другую часть хранят в течение длительного времени в контролируемых условиях на специальных площадках (полигонах) предприятий. Такой подход не всегда обеспечивает безопасность городских полигонов, так как на их территории иногда попадают материалы с уровнями более 0,3 мкГр/ч. Длительное хранение промышленных отходов на предприятиях ведет к переполнению площадок. В результате этого часть из них помещают в контейнеры совместно с НАО ТРО, а далее передают в хранилища или реакторные блоки утилизируемых АПЛ. При таком подходе в составе НАО может оказаться от 50 до 60% промышленных (слабо или иначе очень низкоактивных) отходов.

Многолетний опыт обращения с промышленными отходами во Франции, Великобритании и Швеции показывает, что их можно хранить в приповерхностных и на-

Таблица 1. Минимально значимые уровни удельной активности радионуклидов в РАО
Table 1. Minimal Significant Specific-Activity Levels of Radionuclides in RW

Радионуклид Radionuclide	Период полураспада, лет Half-Life, year	Жидкие отходы, кБк/л Liquid waste, kBq/l	Твердые отходы, кБк/кг Solid waste, kBq/kg
^{54}Mn	0,9	2	10
^{60}Co	5,3	0,4	10
^{90}Sr	29,1	0,05	100
^{134}Cs	2,1	0,07	10
^{137}Cs	30,0	0,11	10

SCIENTIFIC, ENGINEERING, REGULATORY AND LEGAL PROBLEMS OF ESTABLISHING SYSTEM FOR VERY LOW-LEVEL WASTE MANAGEMENT IN THE NORTH-WEST OF RUSSIA

V. Vysotsky, IBRAE RAS, Russia

The expediency of establishing the category of Very Low-Level Waste (VLLW) has been justified by now and put into practice at nuclear facilities in France, the UK, Sweden and Italy; at the same time the VLLW category is not used in the USA, Belgium, Finland and Germany. In the Russian Federation the very first attempt at introducing the VLLW category was made while developing the Basic Sanitary Radiation Safety Regulations (OSPORB-99) [1]. At the following stage joint Russian-Norwegian-Swedish investigations were conducted which outcomes were reported at the Contact Expert Group (CEG) Meeting in Stockholm on April 26-27, 2006. It was stated that the establishment in the Russian Federation of an additional radwaste category – Very Low-Level Waste (VLLW), *ad exemplum* of several European countries, would contribute to rational and efficient management of large radwaste volumes, especially those generated at contaminated sites such as Andreeva Bay and Gremikha. So far the results of these investigations have been implemented into hygienic requirements on industrial waste management at the Federal State Unitary Enterprise (FSUE) SevRAO [2].

Adequate solution of the problem of decommissioning and environmental remediation of former nuclear- and

radiation-hazardous naval sites in Northwest Russia necessitates a clear categorization of Radioactive Waste (RW), as well as specification of all management phases for industrial waste and conditions for exemption of materials with low concentrations of radioactive substances from the regulatory control. It will be recalled that Solid RW (SRW) from decommissioning and remediation is considered as radwaste of long-term hold-up and contains the following radionuclides: ^{137}Cs - 50-70%; ^{90}Sr - 10-20%; ^{60}Co - 5-15%; ^{54}Mn , ^{134}Cs - 1-5%. There is virtually no significant contamination by β -emitting nuclides [3, 4]. Thus, while comparing various approaches to RW management, the attention should be focused first on ^{137}Cs and ^{90}Sr , the contribution of ^{60}Co being also taken into account. By volume, up to 90% SRW are Low-Level Waste (LLW), up to 10% are Intermediate-Level Waste (ILW) and 1% at a maximum are High-Level Waste (HLW). Waste is considered as radwaste when Minimal Significant Specific-Activity (MSSA) levels of radionuclides contained therein exceed the values established at the Russian Radiation Safety Standards (NRB-99). The following three radwaste categories are distinguished at present (Tables 1 and 2 [5]).

Таблица 2. Классификация радиоактивных отходов
Table 2. RW Categorization

Категория отходов RW category	Удельная активность, кБк/кг Specific activity, kBq/kg		
	β - γ -излучающие радионуклиды β - γ -emitting radionuclides	α -излучающие радионуклиды α -emitting radionuclides	Трансурановые радионуклиды Transuranics
Низкоактивные (НАО) Low-level waste (LLW)	МЗУА* – 10^3 MSSA* – 10^3	$< 10^2$	< 1
Среднеактивные (CAO) Intermediate-level waste (ILW)	10^3 – 10^7	10^2 – 10^7	1 – 10^5
Высокоактивные (ВАО) High-level waste (HLW)	$> 10^7$	$> 10^7$	$> 10^5$

* МЗУА для ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs – 10 кБк/кг, ^{90}Sr – 100 кБк/кг

* MSSA for ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs – 10 kBq/kg, ^{90}Sr – 100 kBq/kg

Таблица 3. Диапазон удельной активности β-γ-излучающих радионуклидов в промышленных и низкоактивных отходах, принятый для классификации в различных странах, кБк/кг

Страна	Отходы			
	Промышленные			Радиоактивные
	Выводятся из сферы регулирования*1	Владелец прекращает контроль*2	Владелец продолжает контроль*3	Владелец продолжает контроль. НАО*4
Франция	–	< 1	1–100	–
Великобритания	0,4	0,4–4	> 4	–10 ⁴
Швеция	–	< 5	5–300	> 300
Финляндия	–	–	< 1	1–10 ³
США	–	–	< 100	10 ² –10 ⁵
Россия				
– техногенные	0,3	< 0,2 мкЗв/ч*5	1,5–(10–100)	10 ¹⁻² – 10 ³
– природные		< 1,5	1,5–10	> 10

*1 Можно неограниченно использовать в хозяйственной деятельности.

*2 Вывозят на обычные или муниципальные свалки.

*3 Помещают или передают под контроль на лицензированную площадку.

*4 Помещают или передают под контроль в лицензированное хранилище.

*5 Соответствует ~ 1,5 кБк/кг ¹³⁷Cs (см. далее табл. 11).

земных хранилищах упрощенных конструкций или как в США изолировать в траншеях в специально отведенных местах (табл. 3[6], рис. 1 [6–9]).

Существует несколько практических подходов решения проблемы, которые могут служить прототипами для российских объектов. Один из таких вариантов уже нашел свое отражение. Например, в ПВХ в губе Андреева предлагают [6] слабоактивные отходы (СлаО), аналогичные ОНАО (далее по тексту СлаО/ОНАО), изолировать в хранилище, подобном изображенному на рис. 1,б. Это хранилище будет требовать контроля и эксплуатации на всем этапе жизненного цикла, включая и вывод из эксплуатации, так как должно обеспечить безопасное хранение отходов в течение 300 лет, пока активность со 100 кБк/кг не понизится до 0,3 кБк/кг. В соответствии с п.9.1 [2] «Время жизни полигона захоронения ОНАО должно быть рассчитано на период, по истечении которого захоронение не будет представлять радиационной опасности (примерно 10 периодов полураспада определяющего радионуклида)».

Несмотря на то что способ хранения/изоляции предложен, по радиационным параметрам, характеризующим эти отходы, окончательного решения еще не выработано. В [6] в интересах классификации предусматривают не только ввести категорию СлаО, но и изменить границы удельной активности между ними и НАО, а также между НАО и САО на величину, в несколько десятков раз большую по сравнению с существующими уровнями (табл.4).

В то же время [2] критерии затрагивают только промышленные отходы ФГУП «СевРАО» и ориентированы на ограниченный радионуклидный состав. При этом предлагается понятие СлаО заменить понятием ОНАО (табл.5)

Первый подход (см. табл. 4) можно расценить как конкретный и общий, второй (см. табл. 5) – как частный. При изменении радионуклидного состава верхний порог введенной категории ОНАО по удельной β-активности не будет постоянным. Одновременно, единственный практический критерий сортировки отходов – мощность дозы на расстоянии 0,1 м – также будет переменной величиной, так как он становится зависящим от нескольких параметров, которые невозможно корректировать и соответственно контролировать в процессе сортировки отходов. Кроме того, как будет показано ниже, приведенный диапазон мощности дозы 0,1–1,0 мкЗв/ч не адекватен активности 0,3–12 кБк/кг в первую очередь по нижнему уровню 0,3 кБк/кг.

Введение категории СлаО/ОНАО в регионе. Целесообразность введения данной категории по критериям, приведенным в табл. 4, на объектах утилизации и реабилитации была поддержана при разработке Стратегического мастер-плана для Северо-Запада России [4]. Однако по ряду объективных причин оценить эффективность ее применения в масштабе всего региона не удалось, хотя и была разработана стратегия комплексного подхода решения проблемы обращения со всеми РАО в регионе (рис. 2) [4, 10], которая в своей основе позволяет продолжить рассмотрение вновь возникающих вопросов.

Разработанная единая система обращения с РАО в Северо-Западном регионе предполагает транспортировку НАО, САО и ВАО со всех предприятий и объектов в ПДХ Сайда. Остался открытым вопрос обращения с промышленными отходами, содержащими радиоактивные вещества, но не подлежащими захоронению на городских полигонах. С введением гигиенических требований для «СевРАО» по обращению с ОНАО положение изменилось. Возникла необходимость рассмотрения вопроса обраще-

Table 3. Specific-activity Limits of Beta and Gamma Emitters in Industrial and Low Level Waste Adopted for Classification in Different States, kBq/kg

Country	Waste			
	Industrial			Radioactive
	Exempted from regulation*1	Owner ceases monitoring*2	Owner continuous monitoring*3	Owner continuous monitoring. LLW*4
France	–	< 1	1–100	–
UK	0,4	0,4–4	> 4	–10 ⁴
Sweden	–	< 5	5–300	> 300
Finland	–	–	< 1	1–10 ³
USA	–	–	< 100	10 ² –10 ⁵
Russia				
–man-caused nuclides	0,3	< 0,2 мкЗв/ч*5	1,5–(10–100)	10 ¹⁻² – 10 ³
–natural radionuclides		< 1,5	1,5–10	> 10

*1 It may be used without limits.

*2 It is removed to general and city dumps.

*3 It is placed or transferred under control to the Site having the license.

*4 It is placed or transferred under control to the Site having the license.

*5 It corresponds to ~ 1,5 kBq/kg ¹³⁷Cs (see Table 11).

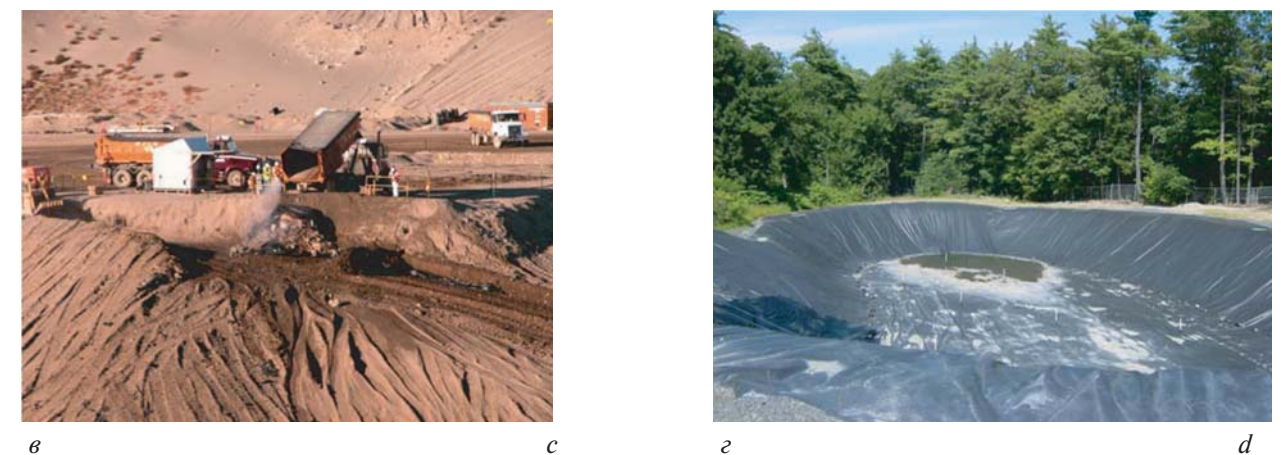
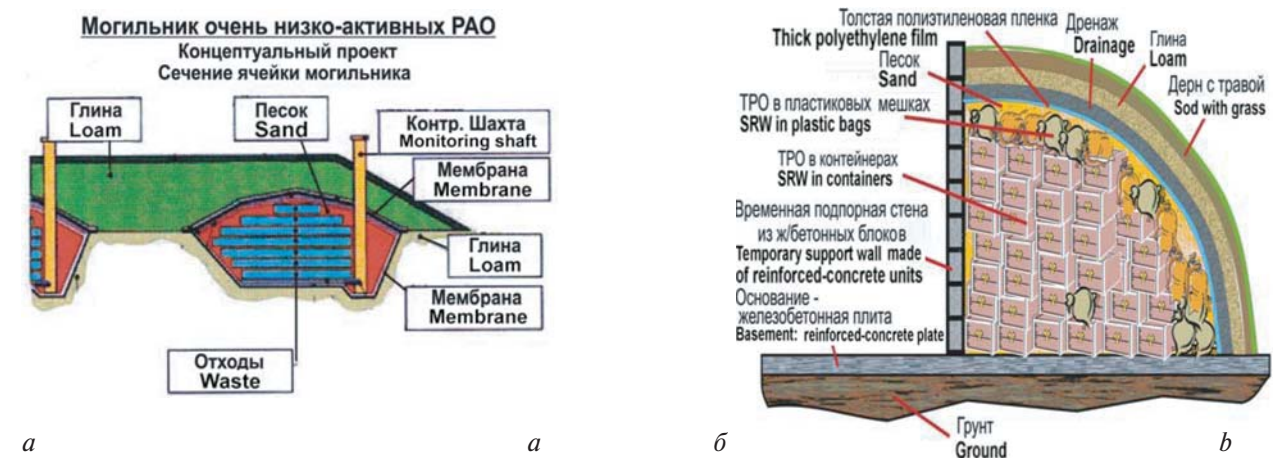


Рис. 1. Способы изоляции промышленных отходов: а – в Морвилле во Франции; б – в Оскаршамне в Швеции; в – в Массачусетсе в США; г – в Хэнфордe в США
Fig. 1. Modes of Industrial Waste Disposal in France (a – Morville), Sweden (b – Oscarshamn) and USA (c – Massachusetts, d – Hanford)

ния со СлаО/ОНАО в регионе с учетом интересов всех организаций, непосредственно занимающихся утилизацией и реабилитацией. В Мурманской обл. ПВХ в губе Андреева, ПВХ в п. Гремиха, ФГУП «Нерпа», ФГУП «10 СРЗ» МО РФ, ФГУП «Атомфлот» и ПДХ Сайда; в Архангельской обл. ФГУП «Звездочка» и ФГУП «Севмаш». Однако для обоснования оптимального варианта построения такой системы необходима оценка и анализ нескольких факторов:

- экономической выгоды хранения/изоляции СлаО/ОНАО в местах их образования как альтернативы отправки на ПДХ Сайда;
- условий обеспечения длительного контролируемого хранения/изоляции в местах предполагаемого размещения хранилищ СлаО/ОНАО;
- возможности решения нормативно-правовых и научно-технических проблем, возникающих при введении новой категории;
- преимущества обеспечения радиационной безопасности персонала и населения по сравнению с существующим положением.

Экономическая выгода. Затраты на обращение с РАО в различных странах не одинаковы. Для последующего анализа воспользуемся материалами работ [6, 11, 12], где приведены затраты на обращение с НАО в различных странах (табл. 6).

Стоимость хранения. Поскольку введение категории СлаО/ОНАО предполагает не менее чем в 10 раз уменьшение расходов на строительство хранилищ, чем для НАО, будем ориентироваться на среднюю величину 330 ± 70 €/м³. ВНИПИЭТ, выполнив предварительные исследования для ПВХ Андреева, получил следующую оценку: I этап (строительство хранилища на 2000 м³) ~ 480 €/м³, II этап (4000 м³) ~ 390 €/м³, III этап (6000 м³) ~ 280 €/м³, что в среднем соответствует ~ 350 €/м³. С учетом отмеченной тенденции, а также ожидаемых объемов образования НАО (см. рис.2) можно оценить затраты на строительство хранилищ для каждого из участвующих в утилизации и реабилитации объектов региона: ФГУП «Атомфлот», «10 СРЗ», «Севмаш» ~ 600 €/м³; «Звездочка» ~ 550 €/м³; ПВХ Гремиха, ФГУП «Нерпа» ~ 500 €/м³; хра-

нилища № 162 и «Миронова гора» ~ 400 €/м³; ПВХ Андреева ~ 350 €/м³, ПДХ Сайда ~ 330 €/м³. При современных технологиях строительства эксплуатационные и ремонтные затраты будут составлять около 5 % исходной стоимости хранилища, периодичность ремонтно-восстановительных работ – один раз в 50 лет.

Стоимость транспортировки. Затраты на транспортировку морским путем получены с учетом следующих предпосылок. По данным ФГУП «Атомспецтранс», суточная эксплуатация судна, которое планируется построить в рамках российско-итальянского сотрудничества для транспортировки ОЯТ и РАО, может составлять от 15000 до 20000 €/сут. Его экономическая скорость примерно 10 узлов. Доставка ТРО предполагается в 20-футовых контейнерах (требование ПДХ Сайда). Размеры двух грузовых трюмов позволят разместить 8 подобных контейнеров в один слой и 16 контейнеров в два слоя. Опыт транспортировки металлических НАО с ФГУП «Нерпа» на железнодорожный терминал г. Мурманска для отправки на переплавку на ФГУП «Экомет-С» в 20-футовых контейнерах показал, что в них может быть с учетом ограничений по массе помещено от 5 до 7 м³ данного типа отходов. При меньшей плотности материала можно разместить 10-15 м³ ТРО. Это позволяет принять значение 10 ± 5 м³/контейнер в качестве средней оценки. В результате судно сможет принять в трюмы от 80 до 160 м³ НАО или СлаО/ОНАО. Соответственно стоимость перевозки будет составлять примерно $0,6 \pm 0,2$ €/м³·миля. При дополнительном размещении 20-футовых контейнеров на палубе стоимость можно понизить до $0,4-0,5$ €/м³·миля. Для дальнейшего анализа с учетом погрузочно-разгрузочных работ используют верхний предел приведенной оценки $0,8$ €/м³·миля (в реальности транспортировка промышленных отходов не требует помещения их в 20-футовые контейнеры и использования спецсудна. Достаточно грузового транспорта (баржи), в результате чего стоимость понизится до $0,1-0,2$ €/м³·миля).

Проведенный выше анализ затрат на строительство хранилищ для СлаО в местах их образования в качестве альтернативы транспортировки отходов на ПДХ Сайда позволил оценить экономическую выгоду ре-

Таблица 4. Предлагаемая классификация ТРО по [6]
Table 4. Proposed Categorization of SRW [6]

Категория отходов Waste category	Удельная активность β-γ-радионуклидов, кБк/кг Specific activity of β-γ-radionuclides, kBq/kg
Слабоактивные (СлаО) VLLW	0,3–100
Низкоактивные (НАО) LLW	$10^2-3,7 \cdot 10^4$
Среднеактивные (САО) ILW	$3,7 \cdot 10^4-3,7 \cdot 10^7$
Высокоактивные (ВАО) HLW	$> 3,7 \cdot 10^7$

Waste containing man-caused radionuclides with the activity below MSSA is considered as industrial waste, some of which is transferred to city dumps for disposal (Exposure Dose Rate (EDR) together with the radiation background < 0.3 μGy/h), whereas the remaining waste is stored under monitored conditions at special pads (grounds) of enterprises for a long period of time. The described approach, however, does not ensure safe conditions at city dumps in all cases, for sometimes materials with the levels > 0.3 μGy/h are found at such dumps. Storage for long of industrial waste at enterprises leads to overfilling of storage pads. Consequently, a portion of such waste is placed into containers together with LLW SRW and next is transferred to storage facilities or loaded into reactor units of dismantled nuclear powered submarines (NPS). Thus under such an approach 50-60% of industrial waste (i.e. VLLW) could be handled together with LLW.

Many-year experience of industrial waste management in France, the UK and Sweden demonstrates that such waste may be either stored within subsurface or above-ground storages of simplified construction or disposed of in trenches at special locations (USA) - (Table 3 [6]), Fig. 1 [6-9]).

Thus there are several practical approaches to solution of the problem under consideration, which may serve as prototypes for Russian sites, one of them being under implementation at the Temporary Storage Facility in Andreeva Bay (TSFA) [6]. There is a proposal on VLLW disposal at TSFA within a structure similar to that demonstrated in Fig. 1b. Such a structure would require monitoring and running during the whole life cycle including the

decommissioning phase to ensure safe storage of waste for up to 300 years until its activity decreases from 100 kBq/kg down to 0.3 kBq/kg (in accordance with [2] Clause 9.1 "The life cycle of VLLW disposal site is to be calculated for a period after expiration of which it will not be of radiation hazard (approximately 10 half-lives of determining radionuclide)").

Nevertheless, though the mode of storage/disposal has been proposed, there is still no definitive decision on radiation parameters of this waste. In Ref. [6] not only introduction of VLLW category into the actual RW-categorization system is proposed, but also modifications of specific-activity limits between VLLW & LLW and LLW & ILW by a value exceeding the actual levels by several tens of times (Table 4).

At the same time, the criteria of Ref. [2] involve only industrial waste of FSUE SevRAO and cover a limited radionuclide composition (Table 5).

The approach demonstrated in Table 4 may be considered as a general one, whereas that of Table 5 as a particular approach. In case of radionuclide composition alteration the upper threshold of new VLLW category would be variable for specific β-activity. Simultaneously, the only practical assortment criterion – EDR at 0.1 m – would be also a variable value becoming dependent on several non-correctable and thus uncontrollable parameters in the course of waste assortment. In addition, the given EDR range of 0.1–1.0 μSv/h would not be adequate to the activity of 0.3–12 kBq/kg – firstly, with respect to the bottom level of 0.3 kBq/kg (see below).

VLLW-category introducing in the region. The

Таблица 5. Критерии сортировки промышленных отходов на «СевРАО» при изотопном составе 20% ⁹⁰Sr и 80% ¹³⁷Cs [2]

Категория отходов	Удельная β-активность, кБк/кг	Поверхностное загрязнение, β-част./((мин·см ²))	Мощность дозы на расстоянии 0,1 м от поверхности упаковки, мкЗв/ч
Освобожденные отходы	≤ 0,3	≤ 50,0	Непревышение естественного радиационного фона, характерного для данной местности, более чем на 0,1
ОНАО	0,3–12,0	50,0–500,0	0,1–1,0

Примечание. При сортировке промышленных отходов удельную активность и поверхностное загрязнение учитывают одновременно.

Table 5. Industrial-Waste-Categorization Criteria at SevRAO for Isotope Composition: ⁹⁰Sr (20%) and ¹³⁷Cs (80%)

Waste category	Specific β-activity, kBq/kg	Surface contamination β-particle/min·cm ²	EDR at 0,1 m from waste-package surface, μSv/h
Waste exempted from regulation	≤ 0,3	≤ 50,0	Does not exceed local natural radiation background by more than 0,1
VLLW	0,3–12	50,0–500,0	0,1–1,0

Comment: Specific activity and surface contamination are applied simultaneously and do not exclude one another.



Рис. 2. Интегрирующий подход решения проблемы обращения с НАО ТРО в регионе (фрагмент, K – коэффициент компактирования)

лизации данного подхода в масштабах региона (табл. 7–9).

Из анализа данных, приведенных в табл. 7–9, следует, что введение категории СлаО/ОНАО и хранение/захоронение их на месте образования экономически выгодно для ПДХ Сайда и ликвидации хранилищ ТРО №162, «Мирнона гора», затратно для всех ФГУП и ПВХ Мурманской обл., неопределенно для ФГУП «Звездочка» и «Севмаш» (выгода сопоставима с ущербом).

Безопасность. Экономический показатель не единственный фактор, который определяет обоснованность принятия окончательного решения. Более важным является вопрос обеспечения безопасности длительного хранения/захоронения СлаО/ОНАО, который включает радиационный и экологический контроль, физическую защиту и эксплуатацию с выполнением необходимого объема ремонтно-восстановительных работ (табл. 10).

Из данных, приведенных в табл. 10, видно, что максимальный срок безопасного хранения СлаО/ОНАО в течение 100 лет может быть обеспечен только на ПДХ Сайда. На ПВХ Андреева и ПВХ Гремиха в случае продления сроков реабилитации период контролируемого хранения отходов может составить 25 лет. Прогнозирование деятельности ФГУП на 50–100 лет не обоснованно в связи с возможностью их перепрофилирования. В итоге, ни один объект утилизации и реабилитации в регионе не может обеспечить безопасность хранения данных отходов в течение 250 лет.

Нормативная база. В проекте закона «Обращение с радиоактивными отходами», разработанном в 2007 г. ЦНИИАтоминформ, указано, что предприятия обладают правом временного хранения РАО на своих территориях сроком не более 50 лет, далее РАО отправляют в специализированную организацию на долговременное хранение в течение 50–100 лет с последующей передачей на объекты окончательной изоляции. Даже при введении новой категории отходов СлаО/ОНАО с учетом

предъявляемых требований по обращению с отходами этой категории после указанного срока они должны быть переданы совместно с другими радиоактивными отходами на специализированное предприятие. Что делать с НАО, CAO, ВАО определено – они должны быть изолированы в специально отведенных местах. Продолжение эксплуатации специализированного предприятия в интересах поддержания целостности хранилищ СлаО/ОНАО в течение 250 лет в целях ожидания распада техногенных радионуклидов до уровня фона неразумно и нецелесообразно, так как после изоляции основных типов РАО предприятие становится убыточным (рис. 3).

Научно-технические проблемы. Расчеты, выполненные в ИБРАЭ РАН с помощью программы «MicroShield» [13], по оценке мощности дозы γ -излучения, которая может возникать от контейнера со СлаО/ОНАО с процентным соотношением радионуклидов, приведенным в табл. 5, для 0,3 кБк/кг свидетельствуют, что она не соответствует 0,1 мкЗв/ч и находится в пределах 0,02–0,04 мкЗв/ч при плотности материала 0,5–2,0 г/см³. Мощности дозы 0,1 мкЗв/ч эквивалентна удельная активность примерно 0,9–1,5 кБк/кг. Оценки, выполненные для обобщенного радионуклидного состава ТРО, характерного для объектов утилизации и реабилитации региона, приведены в табл. 11. Дозовая нагрузка, рекомендуемая МАГАТЭ (1 мЗв/год), для населения может быть достигнута при активности отходов около 1–1,5 кБк/кг и нахождении человека 24 ч в сутки в течение года (365 дней) среди них, что не реально. Для персонала групп А и Б при обращении с отходами активностью 1,5–100 кБк/кг до 6 ч/сут в течение рабочего года (250 дней) доза облучения не превысит норм, что по фактору безопасности не требует введения более жестких ограничений к классификации и способам хранения промышленных отходов.

Анализ плотности распределения эквивалентной дозы γ -излучения на местности, характерной для рассматриваемого региона, показывает, что в случае проведения

Actual status of SRW categories
"Some LLW SRW are compacted *in situ*, next all RW including non-compacted waste is sent to LSF Saida"

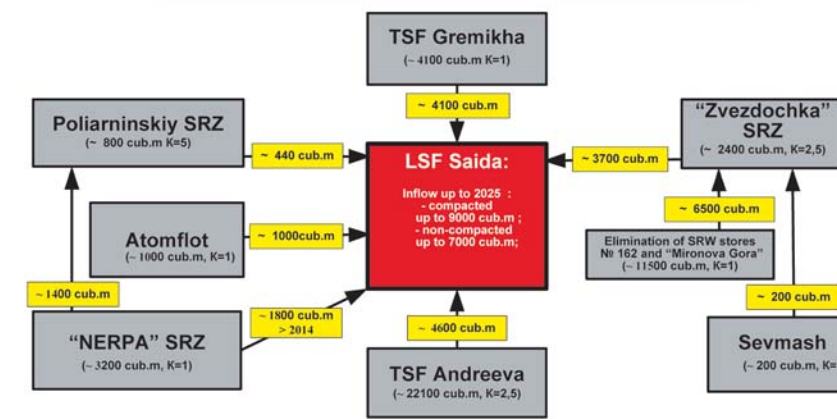


Fig. 2. Integrated Approach to Solution of LLW SRW-Management Problem in the Region (a fragment, K – compacting factor)

expediency of VLLW introduction at decommissioning facilities and remediation sites using the criteria of Table 4 was supported in the Strategic Master Plan (SMP) for Northwest Russia [4]. However due to several objective reasons the efficiency of its application at the regional scale was not evaluated under the SMP, though a strategy was developed providing for integrated approach to management of all radwaste in the region (Fig. 2) [4, 10] and enabling further consideration of new arising issues.

The developed integrated system for RW management in Northwest Russia provides for transfer of LLW, ILW and HLW SRW from all sites and facilities to Saida LSF. However the issue of managing industrial waste containing radioactive substances, which are not subject to disposal at city dumps, remained open. The situation changed after putting the hygienic requirements on VLLW SRW management at SevRAO into action. It has become necessary to address VLLW SRW management in the region taking into account the interests of all parties involved directly into decommissioning and remediation activities: Андреева Bay TSF; GremikhaTSF ; Nerpa Shipyard;

Поллярный SRZ, Атомфлот and Сaida LSF in the Mirmansk region, Zvezdochka Shipyard and Sevмаш in the Arkhangelsk region. To justify an optimal option of such a system development, both evaluation and analysis of the following factors are necessary:

- economic benefits of VLLW SRW storage/disposal *in situ* as an alternative to its sending to Saida LSF;
- conditions of ensuring long-term monitored storage/disposal at locations of proposed siting of VLLW SRW storage facilities;
- possibility of solving regulatory, legal, scientific and engineering problems arising while establishing the new RW category; and
- advantages in ensuring radiation safety of workers and population as compared to the present-day situation.

Economic benefits. The expenses for RW management in different countries are not the same. Though the spread of expenses is large, it will undoubtedly decrease after initiation of large-scale construction. For further analysis the data of References [6, 11, 12] will be used, which provide the expenses for LLW SRW management in different countries (Table 6).

Таблица 6. Ориентировочные затраты на обращение с НАО ТРО в различных странах, евро
Table 6. Estimated Evaluation Cost for LLW SRW Management in Different Countries, euro

Страна Country	Строительство 1м ³ хранилища Construction of storage facility (1m ³)	Кондиционирование 1м ³ Treatment (1m ³)	Долговременное хранение 1м ³ Long-term storage (1m ³)	
			50 лет 50 years	100 лет 100 years
Германия Germany	4000	2100–5700	10000	20000
Швеция Sweden	1200	1900–2100	2500	15000
Великобритания UK	4000	2100–5700	10000	20000
США USA	2600	2100–5700	4500	9000
Россия Russia	2600	~6400	7000	14000
Среднее Average	~3300±700	~4500±2000	~7000±3000	~13500±6000

Таблица 7. Затраты на хранение СлаО/ОАО в местах их образования в пределах региона в течение 250 лет или отправку на ПДХ Сайда, евро

Объект, предприятие	Ожидаемый объем отходов, м ³	Обращение с ОАО на месте			Отправка на ПДХ Сайда
		Строительство хранилищ	Эксплуатация и ремонт хранилищ	Суммарные затраты	
Мурманская обл.					
ПВХ Гремиха	2 300	1 200 000	300 000	1 500 000	400 000
ПВХ Андреева	12 200	4 300 000	1 100 000	5 400 000	500 000
ФГУП «10 СРЗ» МО	450	300 000	70 000	370 000	11 000
ФГУП «Нерпа»	1 800	900 000	200 000	1 100 000	43 000
ФГУП «Атомфлот»	550	320 000	80 000	400 000	18 000
Архангельская обл.					
ФГУП «Звездочка»	1 300	800 000	200 000	1 000 000	500 000
ФГУП «Севмаш»	100	60 000	15 000	75 000	37 000
Ликвидация хранилищ ТРО №162, «Миронова гора» и реабилитация	5 500	2 200 000	600 000	2 800 000	2 000 000

ремонтно-восстановительных работ и реабилитации территорий применяемая в настоящее время дозиметрическая аппаратура с надежностью 0,997 может обеспечить отделение аномально значимых образований от вариаций фона, обусловленных различным содержанием природных радионуклидов в скальных породах и почве на уровне более 0,1 мкЗв/ч (рис. 4, табл. 12 [14]).

В случае же принятия нижнего порога сортировки отходов (особенно бетонных конструкций, грунтов) на уровне 0,3 кБк/кг (0,03 мкЗв/ч) достоверность отделения аномально значимых образований не будет превышать 0,7, что повлечет за собой необоснованное отнесение определенного количества природных веществ к источнику техногенного загрязнения и соответственно к повышенным затратам на их хранение. Задачу повышения надежности идентификации техногенных радионуклидов с кон-

центрациями около 0,3 кБк/кг на уровне естественного фона можно решить, но для этого необходимо переоснастить дозиметристов и сортировочные участки полевыми полупроводниковыми гамма-спектрометрами, стоимость которых в десятки раз выше стоимости используемой в настоящее время аппаратуры. Кроме того, требуются разработка методик, руководств, дополнительные затраты на ремонт, новый уровень технического и метрологического обеспечения.

В целом, отмеченные выше повышенные затраты с точки зрения радиационной безопасности не обоснованы. Идентификация отходов с годовыми дозовыми нагрузками 0,3 мЗв/год против рекомендуемой 1 мЗв/год и природной 2,4 мЗв/год [1–5], особенно для такого объекта, как ПВХ Андреева, где нет населения и не планируется хозяйственная деятельность, не приемлема. Следует

Таблица 8. Экономическая выгода и ущерб хранения СлаО/ОАО в местах их образования по сравнению с отправкой на хранение в ПДХ Сайда, евро

Объект	Хранение на месте 250 лет	Отправка (и хранение) на ПДХ Сайда	Выгода +€ Ущерб –€	Хранение СлаО/ОАО на месте
Мурманская обл.				
ПВХ Гремиха	1 500 000	400 000 (800 000)	–300 000	Не выгодно
ПВХ Андреева	5 400 000	500 000 (4 000 000)	–900 000	Не выгодно
ФГУП «10 СРЗ» МО	370 000	11 000 (150 000)	–190 000	Не выгодно
ФГУП «Нерпа»	1 100 000	43 000 (600 000)	–450 000	Не выгодно
ФГУП «Атомфлот»	400 000	18 000 (180 000)	–200 000	Не выгодно
Архангельская обл.				
ФГУП «Звездочка»	1 000 000	500 000 (460 000)	–40 000	Не выгодно/выгодно
ФГУП «Севмаш»	75 000	37 000 (35 000)	–3 000	Не выгодно/выгодно
Реабилитация хранилищ ТРО №162, «Миронова гора»	2 800 000	2 000 000 (1 900 000)	+1 100 000	Выгодно

Table 7. Expenses for VLLW SRW Storage in Situ in the Region during 250 Years Compared to Its Shipment to Saida, €

Enterprise, site	Expected waste volume, m ³	VLLW management in situ			Waste shipment LSF «Saida»
		Construction of storage facilities	Running end repair of storage facilities	Total expenses	
Murmansk region					
TSF Gremikha	2 300	1 200 000	300 000	1 500 000	400 000
TSF Andreeva	12 200	4 300 000	1 100 000	5 400 000	500 000
Poliarninskiy SRZ	450	300 000	70 000	370 000	11 000
«Nerpa» SRZ	1 800	900 000	200 000	1 100 000	43 000
Atomflot	550	320 000	80 000	400 000	18 000
Arkhangelsk region					
«Zvezdochka» SRZ	1 300	800 000	200 000	1 000 000	500 000
Sevmash	100	60 000	15 000	75 000	37 000
Elimination of SRZ storage facilities No162, «Mironova Gora» end remediation	5 500	2 200 000	600 000	2 800 000	2 000 000

Storage cost. Because the introduction of VLLW SRW category assumes a decrease in expenses for storage facility construction by at least 10 times as compared to LLW SRW, let us use the average value of 330±70 /m³. The All-Russian Research Institute for Power Technology (VNIPIET), having performed preliminary investigations for Andreeva Bay, achieved the following estimates: Stage I (construction of 2000 m³-capacity storage facility) ~ 480 /m³; Stage II (4000 m³) ~ 390 /m³, Stage III (6000 m³) ~ 280 /m³ that makes up on average ~ 350 /m³. Taking into account both the above cost trend and the expected volumes of LLW SRW (Fig. 2), the expenses on storage facility construction for all decommissioning facilities and remediation sites in Northwest Russia may be estimated as follows: Atomflot, Poliarninskiy SRZ and Sevmas ~ 600 /m³; Zvezdochka Shipyard ~ 550 /m³; Gremikha, Nerpa Shipyard ~ 500 /m³; SRW storage

facilities #162 and Mironova Gora ~ 400 /m³; Andreeva Bay ~ 350 /m³; and Saida LSF ~ 330 /m³. The running-and-repair costs using up-to-date construction technologies for the above enterprises and sites may be estimated at ~ 5 % of the initial storage-facility cost, the interval between repair-and-renewal works being 50 years.

Shipment cost. The expenses for shipment by sea were achieved from the following considerations. According to the data of FSUE Atomspetstrans, daily running of the ship to be built for transportation of Spent Nuclear Fuel (SNF) and RW under Russian-Italian cooperation project is estimated at 15000-20000 a day, the cruising speed being ~ 10 knots. As assumed, SRW will be shipped in 20-foot containers (the requirement of Saida LSF). The dimensions of two cargo holds will enable arrangement of 8 such containers in one layer and 16 containers in two layers. The

Table 8. Economic Advantages and Disadvantages of VLLW SRW Storage in -Situ Compared to Its Shipment to Saida for storage, €

Enterprise, site	Storage in situ for 250 years	Shipment (and storage) at LSF «Saida»	Benefit, +€ Loss, –€	VLLW SRW storage in situ
Murmansk region				
TSF Gremikha	1 500 000	400 000 (800 000)	–300 000	Disadvantageous
TSF Andreeva	5 400 000	500 000 (4 000 000)	–900 000	Disadvantageous
Poliarninskiy SRZ	370 000	11 000 (150 000)	–190 000	Disadvantageous
«Nerpa» SRZ	1 100 000	43 000 (600 000)	–450 000	Disadvantageous
Atomflot	400 000	18 000 (180 000)	–200 000	Disadvantageous
Arkhangelsk region				
«Zvezdochka» SRZ	1 000 000	500 000 (460 000)	–40 000	(Dis)Advantageous
Sevmash	75 000	37 000 (35 000)	–3 000	(Dis)Advantageous
Remediation of SRZ storage facilities №162 and «Mironova Gora»	2 800 000	2 000 000 (1 900 000)	+1 100 000	Advantageous

Таблица 9. Экономические затраты и выгода введения категории СлаО/ОнаО в сравнении с НАО ТРО для ПДХ Сайда при обращении с ними в пункте Сайда в течение 100 лет, €

Содержание ОНАО в составе НАО	ОНАО	НАО	Выгода, €	Введение категории
60%	6 000 000	300 000 000	244 000 000	Выгодно
40%	4 000 000	200 000 000	196 000 000	Выгодно
20%	2 000 000	100 000 000	98 000 000	Выгодно
10%	1 000 000	50 000 000	48 000 000	Выгодно

напомнить, что обеспечить безопасное хранение отходов предлагаемой категории СлаО/ОнаО в течение 250 лет невозможно ни на одном предприятии и объекте региона. При этом необходимо учитывать, что строительство полигонов/хранилищ экономически невыгодно ни на одном из объектов, кроме ПДХ Сайда и в Архангельской обл.

В итоге, по совокупности рассмотренных выше внешних и внутренних факторов ввод категории СлаО/ОнаО с представленными в табл. 4,5 [2,6] показателями не позволяет создать экономически выгодную и непротиворечивую систему обращения со СлаО/ОнаО в масштабе Северо-Западного региона, не приводит к повышению безопасности персонала, населения и окружающей среды. Напротив, в случае принятия рекомендаций по размещению СлаО/ОнаО ТРО в местах образования не будет решена задача освобождения региона от радиоактивных веществ. В течение всего периода их контролируемого хранения/захоронения (до 250 лет) сохранится социально-психологическая напряженность, обусловленная тем, что после ликвидации ядерно- и радиационно-опасных объектов ВМФ на прежних местах их расположения остались «радиоактивные отходы».

Предложения и рекомендации. Возникает вопрос о возможности создания эффективной, непротиворечивой и экономически менее затратной системы обра-

щения с промышленными отходами в регионе. Вернемся к более подробному рассмотрению существующего положения с их классификацией (см. табл. 3). Напомним, что в соответствии с действующими (по состоянию на 2007 г.) критериями [17] для принятия решений при обращении с почвами, твердыми строительными, промышленными и другими отходами, содержащими γ -излучающие радионуклиды, существует следующий алгоритм (табл. 13, рис. 5).

Деятельность по обращению с промышленными отходами (см. табл. 13, рис. 5) соответствует способам хранения/изоляции, представленным на рис. 1, в, г. Затраты на строительство траншейных хранилищ, как известно, в 3–5 раз меньше затрат на строительство упрощенных хранилищ приземного и наземного типа (рис. 1, а, б). Такой подход в настоящее время позволяет безопасно изолировать от 70 до 90% промышленных отходов в местах их образования. Оставшуюся часть отходов можно вывести на объединенный полигон промышленных отходов, который, как было отмечено выше, экономически выгодно создать в интересах всех предприятий и объектов Мурманской обл. в ПДХ Сайда, а для предприятий Архангельской обл. – на базе городского полигона промышленных отходов (г. Северодвинск).

Эффективность такого подхода подтверждает факт более двадцатилетнего периода обращения с отходами

Таблица 10. Возможность длительного контроля, обеспечения физической защиты и эксплуатации хранилищ СлаО/ОнаО при размещении последних в местах образования отходов, лет

Объект	15	25	50	100	250
Мурманская обл.					
ПВХ Гремиха	Есть	Вероятна	Нет	Нет	Нет
ПВХ Андреева	Есть	Вероятна	Нет	Нет	Нет
ФГУП «10 СРЗ» МО	Есть	Есть	Вероятна	Нет	Нет
ФГУП «Нерпа»	Есть	Есть	Вероятна	Нет	Нет
ФГУП «Атомфлот»	Есть	Есть	Вероятна	Нет	Нет
ПДХ Сайда*	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет
Архангельская обл.					
ФГУП «Звездочка»	Есть	Есть	Есть	Вероятна	Нет
ФГУП «Севмаш»	Есть	Есть	Есть	Вероятна	Нет
Реабилитация хранилищ ТРО №162, «Миронова гора»	Есть	Есть	Есть	Вероятна	Нет

* Предусмотрено планом строительства.

Table 9. Economic Losses and Benefits in Case of VLLW-Category Introduction Versus LLW SRW for Waste Management at Saida during 100 years, €

% of VLLW in LLW	VLLW	LLW	Benefit, +€	VLLW category introduction
60%	6 000 000	300 000 000	+244 000 000	Выгодно
40%	4 000 000	200 000 000	+196 000 000	Выгодно
20%	2 000 000	100 000 000	+98 000 000	Выгодно
10%	1 000 000	50 000 000	+48 000 000	Выгодно

experience of shipping metal LLW SRW from Nerpa Shipyard to the railway terminal in Murmansk-city for subsequent sending to FSUE ECOMET-S for remelting within 20-foot containers has demonstrated that each of them can be loaded with 5 to 7 m³ of such radwaste taking account of the relevant weight limitations. At a lesser density of material 10-15 m³ SRW can be loaded per container. The above reasoning allows taking the value of 10±5 m³/container as an average estimate. Thus two cargo holds of such a ship may be loaded with 80-160 m³ LLW or VLLW SRW, and, consequently, the shipment cost would equal ~ 0.6±0.2 /m³-per mile. If some additional 20-foot containers were arranged on the ship's deck, the cost could be diminished down to 0.4-0.5 /m³-per mile. For further analysis with consideration for handling operations, let us take the upper limit of the above estimate - 0.8 /m³-a mile (in reality, shipment of industrial waste does not necessitate its placement into 20-foot containers as well as the use of special ship. A standard barge is quite sufficient for this purpose, and thus the shipment cost would decrease down to 0.1-0.2 /m³-per mile).

The above cost analysis for construction of storage facilities for VLLW SRW *in situ* as an alternative of its shipment to Saida LSF allows estimating the economic benefit of such an approach implementation at the regional scale (Tables 7-9).

From analysis of the data of Tables 7-9 it follows that

the establishment of VLLW SRW category and its storage *in situ* would be economically beneficial for Saida LSF and for the case of elimination of SRW storage facilities # 162 and Mironova Gora. This, however, would be unprofitable for all shipyards and TSFs of the Murmansk region. With regard to Zvezdochka Shipyard and Sevmashe the benefit is uncertain (i.e. comparable to the loss).

Safety. Economic indices are not the only factor that justifies making of a definitive decision. The issue of ensuring safe long-term storage/disposal of VLLW SRW is even more important and includes: radiation and environmental monitoring, physical protection and running including necessary repair-and-renewal works (Table 10).

The data of Table 10 demonstrate that maximum duration of safe VLLW SRW storage (100 years) may be provided at Saida LSF only. The duration of monitored waste storage at Andreeva Bay TSF and Gremikha TSF may attain 25 years if the remediation activities are extended. Predictions of shipyards' activities for 50-100 years are unjustified due to the possibility of their conversion. Thus none of the decommissioning facilities and remediation sites in the region is capable of ensuring safe storage of VLLW SRW for 250 years.

Regulatory basis. In accordance with the legislative proposal on "Radwaste Management" developed at TSNII

Table 10. Potentialities for Long-Term Monitoring, Physical Protection and Running of Storage Facilities in Case of VLLW SRW Storage/Disposal in Situ, Years

Enterprise, site	15	25	50	100	250
Murmansk region					
TSF Gremikha	Yes	Presumable	No	No	No
TSF Andreeva	Yes	Presumable	No	No	No
Poliarninskiy SRZ	Yes	Yes	Presumable	No	No
«Nerpa» SRZ	Yes	Yes	Presumable	No	No
Atomflot	Yes	Yes	Presumable	No	No
LSF «Saida»*	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Arkhangelsk region					
«Zvezdochka» SRZ	Yes	Yes	Yes	Presumable	No
Sevmash	Yes	Yes	Yes	Presumable	No
Remediation of SRW storage facilities No162 end «Mironova Gora»	Yes	Yes	Yes	Presumable	No

* is provided for in the construction plan.



Рис. 3. Этапы обращения с ТРО, освобождающие эксплуатирующую организацию от ответственности за обращение со всеми категориями отходов, включая предлагаемую категорию СлаО/ОНАО ТРО, в соответствии с проектом федерального закона «Обращение с радиоактивными отходами» 2007 г.

флота, содержащими радиоактивные вещества, в Приморском крае на ФГУП «30 СРЗ» ВМФ, где постоянно ведется реабилитация сооружений, территорий и акваторий, загрязненных техногенными радионуклидами, образовавшимися в результате аварии ЯЭУ на АПЛ К-431 в бухте Чажма в 1985 г. [19]. Данный подход позволяет добиваться необходимых результатов и не вызывает нареканий со стороны контролирующих органов и общественности (рис. 6).

В первые дни и месяцы после аварии реабилитации подверглась территория судоремонтного завода и загрязненные сооружения. В течение последующих 10 лет была удалена наиболее загрязненная область радиоактивного следа в районе гравийного карьера. Очищена акватория бухты Чажма у причальной стенки и фарватер. В 2002 г. проведена реабилитация дна озера-котлована и прилегающей к нему территории. Сооружения реабилитировали методами дезактивации, заменой обо-

Таблица 11. Мощность дозы γ -излучения на стандартных расстояниях от контейнера и на площадке промышленных отходов при различном содержании радиоактивных веществ, 10^{-2} мкЗв/ч

Расстояние, γ -излучатель	Удельная активность вещества, содержащего радионуклид, кБк/кг			
	0,3	1,5	10	100
Контейнер 1×1×1 м				
Расстояние 0,1 м ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	3,0–3,8	15–19	100–125	1000–1250
Расстояние 1,0 м ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	0,3–0,6	1,5–3	10–20	100–200
Площадка 50×50×1 м				
Расстояние 0,1 м ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	2,1–4,1	10–20	70–130	700–1300
Расстояние 1,0 м ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	2,3–4,4	12–22	80–145	800–1450
Доза, мЗв/год 24 ч в сут 6 ч в сут	0,2–0,4 –	1–1,8 –	6–12 1–2	60–120 10–20

Примечание. Принята плотность вещества 1,5 г/см³. Погрешность оценок 20%. По НРБ-99 допустимая годовая доза для населения соответствует 1 мЗв/год, персонала группы Б – 5 мЗв/год, группы А – 20 мЗв/год.

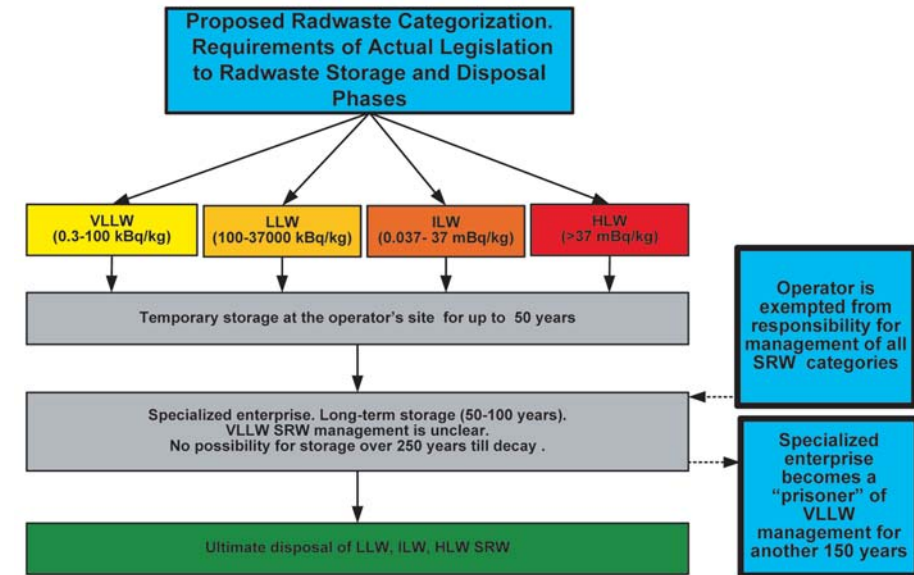


Fig. 3. SRW-Management Phases, which Exempt the Operator from Responsibility for Management of all Radwaste Categories, including the Proposed VLLW SRW, in accordance with «Radioactive Waste Management» Draft Law of the Russian Federation (2007)

Atominform in 2007, the enterprises involved have the right to store radwaste temporarily at their sites for maximum 50 years; next such radwaste is to be sent to a specialized enterprise for long-term storage (50-100 years) followed by its transfer to ultimate-disposal sites. Thus, even if new RW category (VLLW) is established, such waste - taking account of the requirements on its management – is to be transferred together with other RW categories to specialized enterprises

shortly after expiration of the period indicated. The destiny of LLW, ILW and HLW SRW is clear: they are to be confined within special locations for thousands of years. Continuation of the functioning of specialized enterprises to support the integrity of VLLW storage facilities over 250 years awaiting decay of man-caused radionuclides down to the background level is unreasonable and inexpedient: after confinement of main RW categories their functioning becomes unprofitable (Fig. 3).

Table 11. Gamma-EDR at Standard Distances from Container and Industrial-Waste Pad for Different Concentrations of Radioactive Substances, 10^{-2} μ Sv/h

Main gamma-emitters	Specific activity of radionuclide-containing substance, kBq/kg			
	0,3	1,5	10	100
Container 1×1×1 m				
Distance 0,1 m ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	3,0–3,8	15–19	100–125	1000–1250
Distance 1,0 m ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	0,3–0,6	1,5–3	10–20	100–200
Pad 50×50×1 m				
Distance 0,1 m ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	2,1–4,1	10–20	70–130	700–1300
Distance 1,0 m ¹³⁷ Cs (50–70%) ⁶⁰ Co (5–15%)	2,3–4,4	12–22	80–145	800–1450
Dose, mSv/year - 24 hours a day: 6 hours a day:	0,2–0,4 –	1–1,8 –	6–12 1–2	60–120 10–20

Comments: Substance density of 1.5 g/cm³ is taken for estimates; the error is 20%. According to NRB-99, the annual permissible dose is: 1 mSv/year for population; 5 mSv/year for Group B personnel; 20 mSv/year for Group A personnel.

Таблица 12. Статистические параметры плотности распределения мощности эквивалентной дозы (МЭД) γ -излучения на территории пункта Видяево

Исходные данные	Высота, см	Объем выборки	Среднее, мкЗв/ч	Медиана, мкЗв/ч	Минимум, мкЗв/ч	Максимум, мкЗв/ч	S, мкЗв/ч
Распределение без учета природных аномалий	10	750	0,12	0,12	0,06	0,20	0,03
	100	750	0,10	0,10	0,04	0,18	0,03
Реальное распределение	10	800	0,13	0,12	0,06	0,62	–
	100	800	0,11	0,10	0,04	0,36	–

Примечание. По данным [15] среднее значение МЭД на местности в п. Гремиха составляет 0,1–0,12 мкЗв/ч, в районе ПВХ Андреева (г. Заозерск) – 0,09–0,11 мкЗв/ч, интервал вариаций – 0,09–0,2 мкЗв/ч. По данным [16] среднее значение МЭД составляет 0,11 мкЗв/ч в местах с почвенным покрытием и 0,13 мкЗв/ч в районах выхода скальных пород, интервал вариаций – 0,08–0,22 мкЗв/ч.

Таблица 13. Алгоритм обращения с промышленными отходами, содержащими γ -излучающие радионуклиды

Объект	Меры вмешательства	Обращение с отходами
Загрязненная почва, строительные, промышленные и другие отходы с мощностью дозы 0,1–0,3 мкЗв/ч над фоном*	При отсутствии участков на территории с мощностью дозы > 0,3 мкЗв/ч никаких мер вмешательства не требуется	Никаких мер вмешательства не требуется
Загрязненная почва, строительные, промышленные и другие отходы с мощностью дозы 0,3–1 мкЗв/ч	Проводится дезактивация. Мощность дозы не должна превышать 0,3 мкЗв/ч	Загрязненные материалы используют для засыпки ям, оврагов и строительства дорог вне населенных пунктов с последующей рекультивацией этих мест. Мощность дозы после рекультивации не должна превышать 0,3 мкЗв/ч
Загрязненная почва, строительные, промышленные и другие отходы с мощностью дозы 1–3 мкЗв/ч	Проводится дезактивация. Мощность дозы не должна превышать 0,3 мкЗв/ч	Загрязненные материалы вывозят на полигоны промышленных и бытовых отходов с выделением для их размещения участков или организации специально отведенных мест с последующей рекультивацией. Мощность дозы после рекультивации не должна превышать 0,3 мкЗв/ч
Загрязненная почва, строительные, промышленные и другие отходы с мощностью дозы более 3 мкЗв/ч	Проводится дезактивация. Мощность дозы не должна превышать 0,3 мкЗв/ч	Образовавшиеся РАО вывозят на специализированные пункты захоронения радиоактивных отходов согласно правилам по обращению с радиоактивными отходами.

Примечание. Мощность дозы определяют на 0,1 м от поверхности. Критерии не распространяются на материалы, в которых присутствуют радионуклиды трансуранового ряда. При наличии в грунте и материалах радионуклидов радия и тория решения принимают по удельной активности.

* В соответствии с [18] для металлов после их дезактивации/переплавки мощность дозы с учетом фона не должна превышать 0,2 мкЗв/ч.

Table 12. Statistic Parameters for r -EDR Distribution Density in Vidiaevo

Inicial data	Height, sm	Sample size	Average, μ Sv/h	Median, μ Sv/h	Minimum, μ Sv/h	Maximum, μ Sv/h	S, μ Sv/h
Distribution without anomalies	10	750	0,12	0,12	0,06	0,20	0,03
	100	750	0,10	0,10	0,04	0,18	0,03
Real distribution	10	800	0,13	0,12	0,06	0,62	–
	100	800	0,11	0,10	0,04	0,36	–

Comment: According to Ref. [15], the average r -background value in Gremikha settlement is 0.1- 0.12 mSv/h, in TSF Andreeva area (Zaozersk-town) – 0.09-0.11 γ Sv/h; the variability interval is 0.09- 0.2 γ Sv/h. According to Ref. [16], the average radiation background is: 0.11 γ Sv/h at locations with soil cover and 0.13 γ Sv/h in rocky areas; the integral variability interval is 0.08-0.22 γ Sv/h.

Scientific and engineering problems. The calculations performed at IBRAE RAS using MicroShield software [13] to estimate potential r -EDR from a container with VLLW SRW with radionuclide composition shown in Table 5 for 0.3 kBq/kg have demonstrated that EDR does not equal 0.1 μ Sv/h and varies within 0.02-0.04 μ Sv/h at material density of 0.5-2.0 g/cm³. EDR of 0.1 μ Sv/h corresponds to specific activity of ~ 0.9-1.5 kBq/kg. Estimates performed for a generalized radionuclide composition of SRW typical of decommissioning facilities and remediation sites of the region are demonstrated in Table 11. The dose commitment of 1 mSv/year

recommended by the International Atomic Energy Agency (IAEA) for general population may be achieved at radwaste activity of ~ 1-1.5 kBq/kg and in case of population staying within the affected area for 24 hours in the course of a calendar year (365 days) that is unreal. For personnel of Groups A and B, the exposure dose while managing radwaste of activity 1.5 – 100 kBq/kg during 6 hours/day in the course of a work year (250 days) would not exceed the established standards. Thus from the safety standpoint no tighter restrictions to industrial waste categorization and storage procedures are required.

Analysis of γ -EDR distribution density over characteristic

Table 12. Statistic Parameters for r -EDR Distribution Density in Vidiaevo

Subject	Intervention measures	Waste management
Contaminated soils, building, industrial and other waste with EDR 0,1–0,3 μ Sv/h above the background*	No intervention measures if areas with EDR > 0,3 μ Sv/h are lacking	No intervention measures is required
Contaminated soils, building, industrial and other waste with EDR 0,3–1 μ Sv/h	Decontamination. EDR is not to exceed 0,3 μ Sv/h	Contaminated materials are used for filling up of trenches, ravines, etc., Construction of roads outside inhabited areas followed by land restoration. EDR after land restoration is not to exceed 0,3 μ Sv/h
Contaminated soils, building, industrial and other waste with EDR 1–3 μ Sv/h	Decontamination. EDR is not to exceed 0,3 μ Sv/h	Contaminated materials are removed to dumps of industrial and domestic waste and disposed of within special areas followed by their restoration. EDR after land restoration is not to exceed 0,3 μ Sv/h
Contaminated soils, building, industrial and other waste with EDR > 3 μ Sv/h	Decontamination. EDR is not to exceed 0,3 μ Sv/h	Radwaste produced is removed to special RW -disposal sites in accordance with the RW -management regulations

Comments: EDR is determined at 10-cm height from the surface. The criteria do not cover transuranics containing materials. If radionuclides of Ra and Th are available in grounds and materials, the decisions are taken on specific-activity basis.

*in accordance with Ref. [18], for metals after their decontamination/remelting EDR together with the background is not to exceed 0.2 mSv/h.

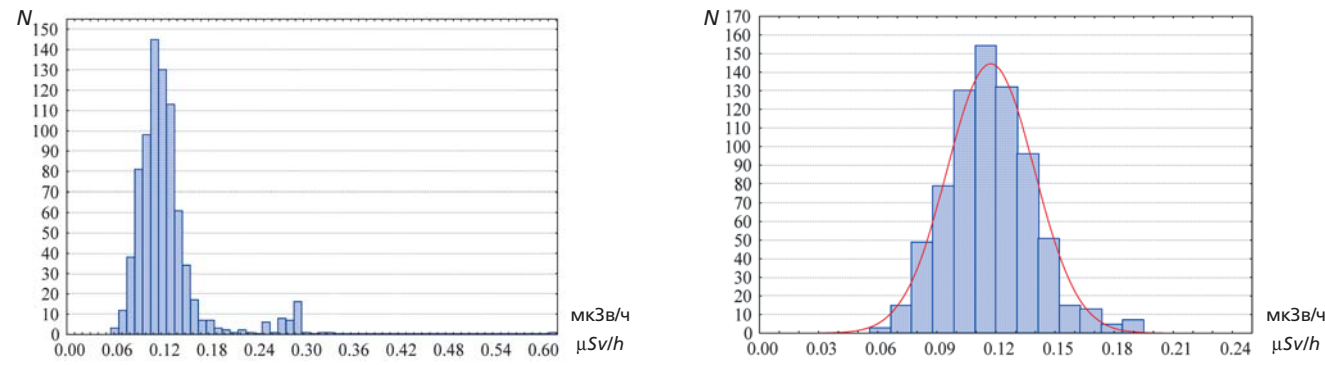


Рис. 4. Гистограммы распределения мощности эквивалентной дозы γ -излучения на высоте 0,1 м в районе пункта Видяево: а – реальное распределение; б – без учета природных аномалий
Fig. 4. Histograms of γ -EDR distribution at 0.1 m height in Vidiaevo area (distributions: a – real; b – without consideration for natural anomalies)

рудования, блоков и конструкций новыми, территории – удалением грунта с РАО, нанесением чистого покрытия и рекультивацией до требуемых уровней, акватории – с использованием дноуглубительной техники, методом откачки воды с последующей реабилитацией дна различными способами. Отходы (кроме крупногабаритных), попадающие под категорию РАО, собирали в контейнеры и помещали в бетонные хранилища приземного типа, менее активные отходы, включая и промышленные, навалом свозили в хранилища траншейного типа. Одно из хранилищ разместили в лесном массиве на радиоактив-

ном следе на удалении 2 км от завода, другие – на территории береговой базы в бухте Сысоева. Гравий из карьера после рекультивации до мощности эквивалентной дозы менее 0,3 мкЗв/ч использовали для выравнивания площадок, отсыпки дорог вне населенных пунктов, строительства фундаментов технических сооружений и пр.

После двадцатилетней выдержки часть отходов категории НАО в результате радиоактивного распада перешла в промышленные отходы. Это позволило освободить дорогостоящие бетонные хранилища и разместить подобные отходы на внутренней промышленной площадке.

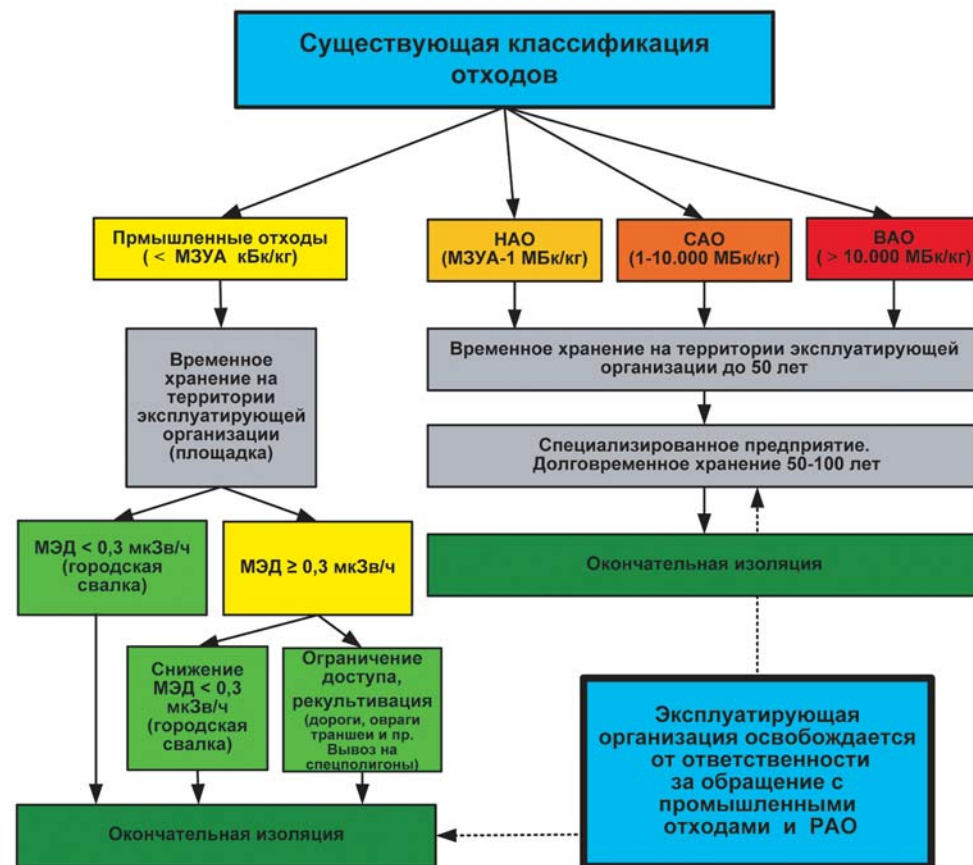


Рис. 5. Существующий алгоритм обращения с промышленными и радиоактивными отходами, освобождающий эксплуатирующую организацию от ответственности за них

territory of the region under consideration demonstrates that in case of repair-and-construction and remediation works the currently used dose-control equipment enables identification (with the reliability of 0.997) of abnormally significant elevations at a level of $> 0.1 \mu\text{Sv/h}$ from natural background variations caused by different concentrations of natural radionuclides in rocks and soils (Fig. 4, Table 12 [14]).

If the bottom waste-assortment threshold (especially for concrete structures and grounds) were established at a level of 0.3 kBq/kg ($\sim 0.03 \mu\text{Sv/h}$), the reliability of separating abnormally-significant materials would not exceed 0.7 that would lead to unjustified consideration of some natural-origin substances as the sources of man-caused contamination and thus in over-expenses for their storage. Potentially, the reliability-enhancement task to identify man-caused radionuclides with concentrations of $\sim 0.3 \text{ kBq/kg}$ (i.e. at the natural-background level) may be solved via re-equipping dosimetrists and waste-assortment areas with field semiconductor gamma-spectrometers. However their cost would exceed that of equipment currently in use by tens of times, and the development of additional guidelines and procedures would be necessary along with extra-expenses for repair and updating of engineering and metrological support.

As a whole, the above-mentioned over-expenses are unjustified from the radiation safety standpoint, whereas the identification of waste with dose commitment of

0.3 mSv/year versus the recommended 1 mSv/year and the natural background of 2.4 (1–5) mSv/year – especially in case of scarcely-populated Andreeva Bay TSF with no plans for further economic use – is unreasonable. It will be recalled that there is no possibility of ensuring safe storage during 250 years of proposed VLLW category at any enterprise/site of the region, and that the construction of waste-disposal grounds/storage facilities has been estimated as unprofitable at the majority of enterprises/sites with the exception of Saida and shipyards in Arkhangelsk region.

Thus, taking into account the integrity of above-considered external and internal factors, the introduction of VLLW category with the indices demonstrated in Tables 4 and 5 [2, 6] would not allow establishing an economically profitable and consistent VLLW-management system in Northwest Russia and would not enhance safety of workers, population and the environment. Quite the contrary, if recommendations on VLLW disposal *in situ* were accepted, the task of the region liberation from man-caused radioactive materials would not be solved. Social and psychological tension would remain in the region throughout the period of VLLW monitored storage/disposal (up to 250 years) based on the perception of “radioactive waste” persistent location at former naval sites even after elimination of their nuclear and radiation-hazardous facilities.

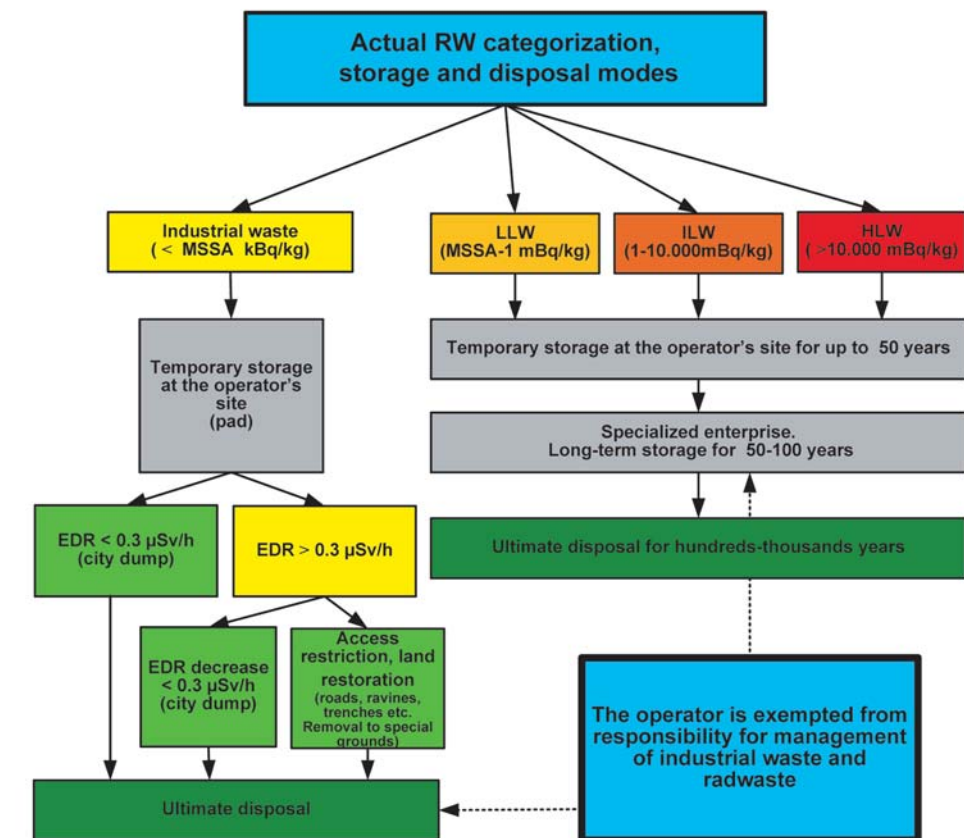


Рис. 5. Currently Used Algorithm, which Exempts the Operator from the Responsibility for Management of Industrial and Radioactive Waste

Таблица 14. Классификация отходов, содержащих радиоактивные вещества

Категория отходов	Удельная активность, кБк/кг		
	β-γ-Излучающие радионуклиды	α-Излучающие радионуклиды	Трансурановые радионуклиды
Промышленные	< 100	< 10	< 0,1
Очень низкой активности (ОНАО)	100–370	< 10 ²	< 1
Низкой активности (НАО)	3,7·10 ² –3,7·10 ⁴	< 10 ²	< 1
Средней активности (САО)	3,7·10 ⁴ –3,7·10 ⁷	10 ² –10 ⁷	1–10 ⁵
Высокой активности (ВАО)	> 3,7·10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁵

Table 14. Categorization of Waste Containing Radioactive Substances

Waste category	Specific activity, kBq/kg		
	β-γ-emitting radionuclides	α-emitting radionuclides	Transuranics
Industrial waste	< 100	< 10	< 0,1
VLLW	100–370	< 10 ²	< 1
LLW	3,7·10 ² –3,7·10 ⁴	< 10 ²	< 1
ILW	3,7·10 ⁴ –3,7·10 ⁷	10 ² –10 ⁷	1–10 ⁵
HLW	> 3,7·10 ⁷	> 10 ⁷	> 10 ⁵

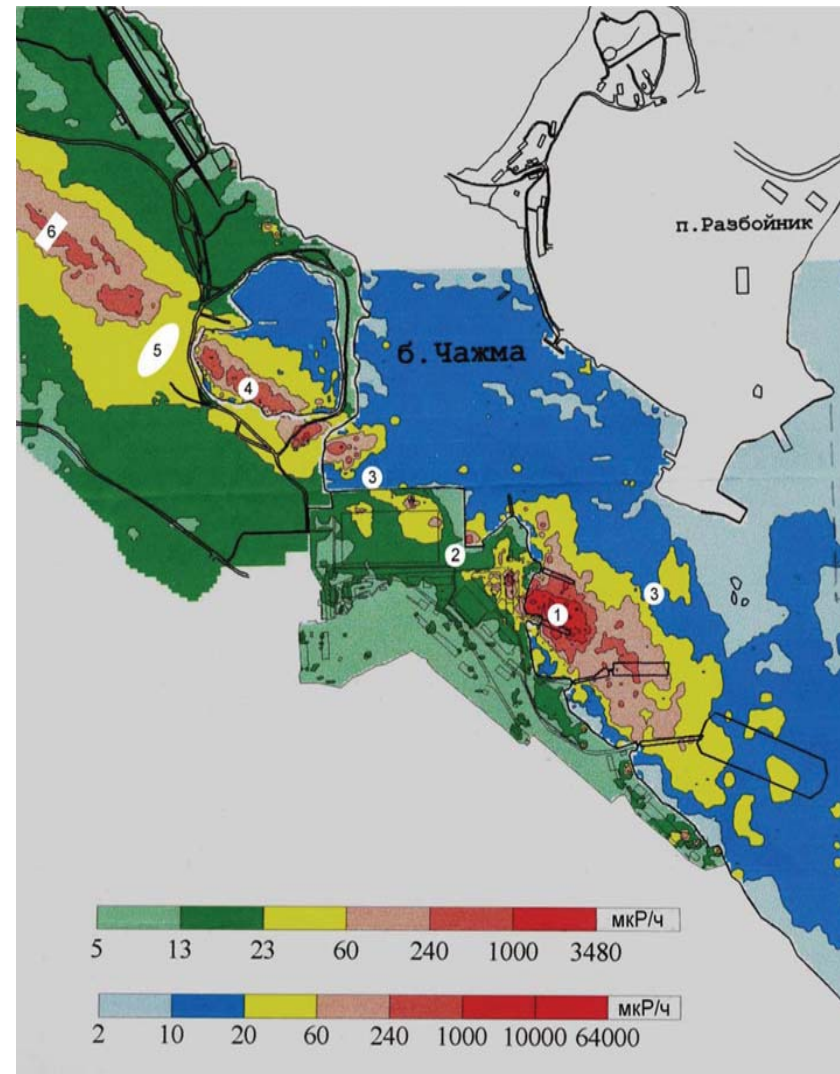


Рис. 6. Участки реабилитации сооружений, территорий и акваторий на радиоактивном следе, образовавшемся в результате аварии ЯЭУ на АПЛ К-431 в б. Чажма в 1985 г. :

1 – место аварии; 2 – судоремонтный завод; 3 – б. Чажма, причальная стенка, фарватер; 4 – озеро-котлован; 5 – гравийный карьер; 6 – траншейное хранилище

Fig. 6. Remediation areas for buildings, lands and aquatic systems within the radioactive trace formed after the Chazhma Bay accident (1985) at K-431 nuclear submarine (1 – accident epicenter; 2 – shipyard; 3 – quay wall and waterway in Chazhma bay; 4 – lake-excavation; 5 – gravel pit; 6 – trench-type storage facility)

Отходы, ранее помещенные в траншейные хранилища, оставлены на радиоактивный распад с последующим их переводом в хранилища промышленных отходов. Под давлением общественности и «зеленых» в связи с отсутствием постоянного контроля траншейное хранилище, созданное после аварии в лесу на радиоактивном следе, в 1992 г. было ликвидировано, и отходы перевезены на береговую базу в бухте Сысоева.

В 2002 г. при подготовке озера-котлована для хозяйственной деятельности также был успешно применен рассмотренный в табл. 13 подход. Алгоритм реабилитации сводился к следующему: предварительное картографирование дна сквозь толщу воды с помощью погружного радиометра, донная гамма-спектрометрия, радионуклидный анализ придонного слоя воды, откачка воды с непрерывным радиометрическим и гамма-спектрометрическим контролем, радионуклидный анализ растительности, рыбы, биоты, повторное картографирование и выделение зон реабилитации, оконтуривание участков, соответствующих ТРО, извлечение ТРО и помещение в металлические контейнеры, контроль радиоактивного загрязнения воздуха, паспортизация и отправка контейнеров с ТРО на временное хранение на береговую базу в бухте Сысоева. Области радиоактивного загрязнения с уровнями менее 0,3 мкЗв/ч были оставлены на естественную дезактивацию, с уровнями более 0,3 мкЗв/ч – рекультивировали техническими средствами до уровней менее 0,3 мкЗв/ч. Завершающий этап: радиационное картографирование, независимая экспертиза контролирующими органами, подписание актов приемки ТРО, реабилитированных участков территории и акватории, передача реабилитированных

Proposals and recommendations. The question arises of whether there is a possibility of establishing an efficient, consistent and less-expensive system for industrial waste management in the region. Let us consider again, but in more detail, the actual industrial-waste-categorization status (see Table 3) and recall the algorithm used while managing soils, solid building, industrial and other wastes containing r-emitting radionuclides in compliance with the criteria presently in force (as of 2007) [17] (Table 13, Fig. 5).

The current industrial-waste-management activities (Table 13 and Fig. 5) correspond to the modes of storage/disposal demonstrated in Fig. 1c and 1d. As known, the expenses for construction of trench-type storages are by 3-5 times less as compared to those for simplified subsurface or aboveground facilities (Fig. 1a and 1b). At present such an approach enables safe confinement *in situ* of 70-90% industrial waste. The remaining waste may be shipped to an integrated ground for industrial waste, which establishment, as mentioned above, would be profitable at Saida for all enterprises and sites of the Murmansk region; for enterprises of the Arkhangelsk region such a ground may be established on the basis of Severodvinsk-city's industrial-waste ground.

The efficiency of the above approach is confirmed by more than 20-year successful experience of managing naval waste containing radioactive substances at Shipyard # 30 (Primorskiy kray, Far East Russia). Here environmental remediation of buildings, territories and aquatic areas contaminated with radionuclides due to the Chazhma Bay accident (1985) at K-431 nuclear submarine is continuously conducted [19]. The used approach enables achievement of required outcomes and does not give rise to criticism from supervisory authorities and public organizations (Fig. 6).

During early post-accident days and months environmental-remediation activities were focused on the shipyard's site and its contaminated buildings. In the course of the following 10 years ground contaminated at the most close to the gravel pit within the radioactive trace was removed, and the aquatic area nearby the quay wall and along the Chazhma Bay's waterway was decontaminated. In 2002 the bottom of the lake-excavation together with the adjacent territory was remediated. Remediation activities were conducted as follows: buildings -

decontamination, replacement of equipment, units and constructions by new ones; lands - removal of contaminated and placing of non-contaminated ground, land restoration up to required standards; aquatic areas - water pumping-out using dredging equipment followed by remediation of the lake bottom via different procedures. Waste considered as radwaste was loaded into containers (save for bulky radwaste) and placed into above-ground concrete storage facilities; less-active waste, including industrial waste, was loaded in bulk into trench-type storages: one of such trenches was established in the woodland 2 km from the shipyard within the radioactive trace, other trenches were arranged at the site of Coastal Maintenance Base (CMB) in Sysoeva Bay. Gravel of the pit after remediation up to <0.3 μSv/h was used for leveling of sites, filling of roads outside settlements, construction of basements for non-inhabited structures, etc.

As a result of radioactive decay, after twenty years of hold-up some LLW became 'industrial waste'. That enabled its removal from expensive concrete storage facilities and arrangement at inner pad. Waste placed earlier into trench-type facilities were left for natural decontamination (radioactive decay) followed by transfer to industrial-waste storages. The trench-type facility established after the accident in the woodland within the contaminated trace was eliminated in 1992 under the pressure of public organizations complaining about the lack of its continuous monitoring, and waste stored therein was shipped to CMB in Sysoeva Bay.

In 2002 the approach illustrated in Table 13 was used with success in the course of remediation of the lake-excavation. The remediation algorithm provided for the following: preliminary mapping of the bottom through water using submersible radiometer; r-spectrometry of the lake bottom; radionuclide analysis of near-bottom water layer; water pumping-out under permanent radiometric and r-spectrometric monitoring; radionuclide analysis of biotic components; re-mapping and identification of remediation areas; contouring of SRW-containing spots; SRW removal and loading into metal containers; air-contamination monitoring; drawing up of SRW identification sheets and sending of containers with SRW to CMB in Sysoeva Bay for temporary storage. Contaminated areas with the levels < 0.3 μSv/h

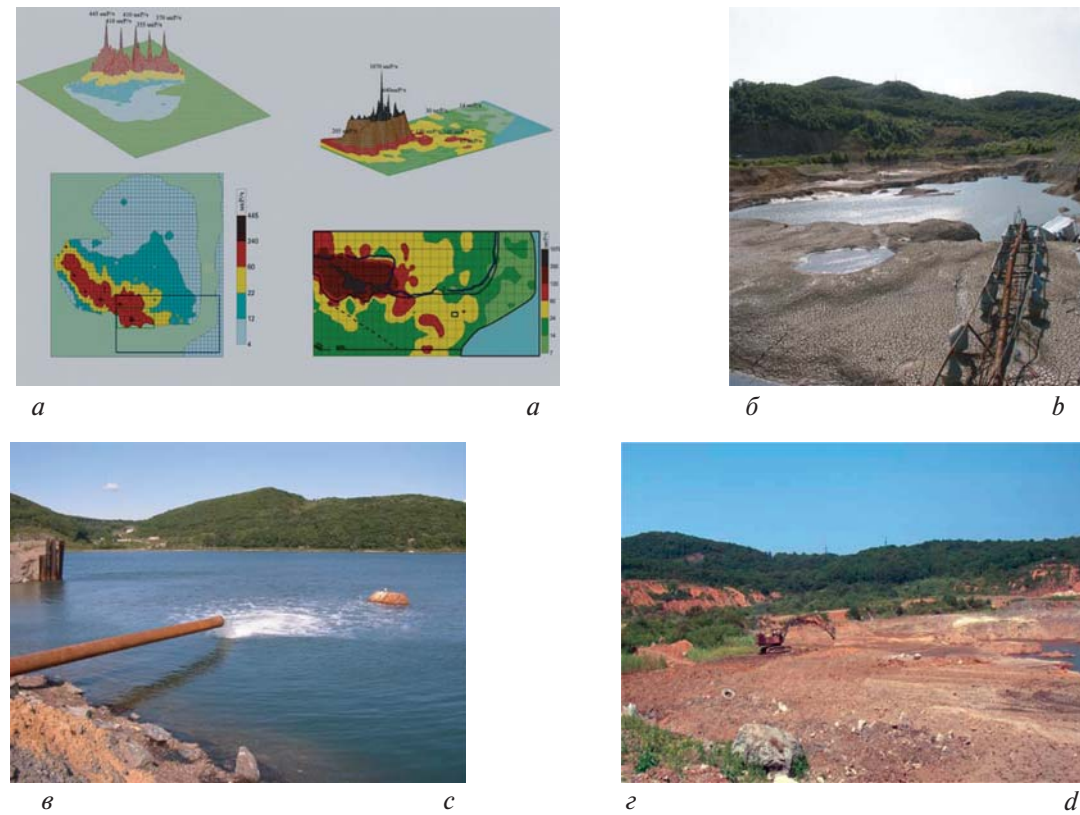


Рис. 7. Начальные этапы реабилитации радиоактивного загрязнения дна озера-котлована: а – картографирование; б, в – откачка воды; г – рекультивация береговой черты
 Fig. 7. Initial remediation stages of contaminated bottom of the lake-excavation: а – mapping; б, с – water pumping out; д – restoration of lakesides

участков в хозяйственную деятельность (рис. 7–8 [20]).
 Как видно, существующий подход обращения с промышленными отходами действует и не приводит к нарушению принятых норм радиационной безопасности НРБ-99, которые разработаны с учетом рекомендаций МАГАТЭ. Однако было бы неоправданно отказываться от отдельных позитивных результатов исследований, которые получены в процессе многолетнего российско-норвежско-шведского сотрудничества в этой области, тем более, что их внедрение может привести к экономической выгоде.
 В частности, заслуживает внимания предложение о смещении нижнего уровня удельной активности для НАО в область больших значений по сравнению с существующими (МЗУА 10–100 кБк/кг для ^{137}Cs , ^{90}Sr , см. табл.4) и изоляции отходов в хранилищах упрощенного типа. Из данных, приведенных в табл. 4, видно, что этот уровень может быть от 100 (США) до 300 кБк/кг (Швеция). При таком подходе можно было бы выделить категорию ОНАО в интервале активности для β - γ -излучающих радионуклидов, например, примерно от 100 до 370 кБк/кг. Предложено все подобные отходы региона собрать на ПДХ Сайда и хранить в хранилищах (см. рис. 1, а, б) в течение 100 лет до снижения активности с 370 до 100 кБк/кг с

последующим их переводом в промышленные отходы, обращение с которыми предусмотрено в [17] (см. табл. 13). Размещение хранилища ОНАО на полигоне промышленных отходов не потребовало бы их дальнейшего перемещения. В случае продления сроков деятельности ПДХ Сайда эти отходы останутся под контролем специальной организации еще на определенный срок. В противном случае полигон промышленных отходов может быть реабилитирован известными способами.
 При данном подходе ожидаемое количество ОНАО будет ориентировочно составлять 30-40 % НАО. В результате упрощения процедуры обращения-хранения ее стоимость понизится с 7000–14000 до 300–400 €/м³, что в масштабе региона будет исчисляться десятками миллионов евро экономии и компенсирует затраты на рекультивацию, дезактивацию, переплавку, сжигание промышленных отходов, а также строительство полигонов для них. В результате классификацию с учетом существующих в России подходов, международного опыта и необходимости создания единой региональной системы обращения с промышленными отходами, содержащими радиоактивные вещества, в Северо-Западном регионе можно представить следующим образом (табл. 14, рис. 9).
 Представленный на рис. 9 алгоритм обращения с про-

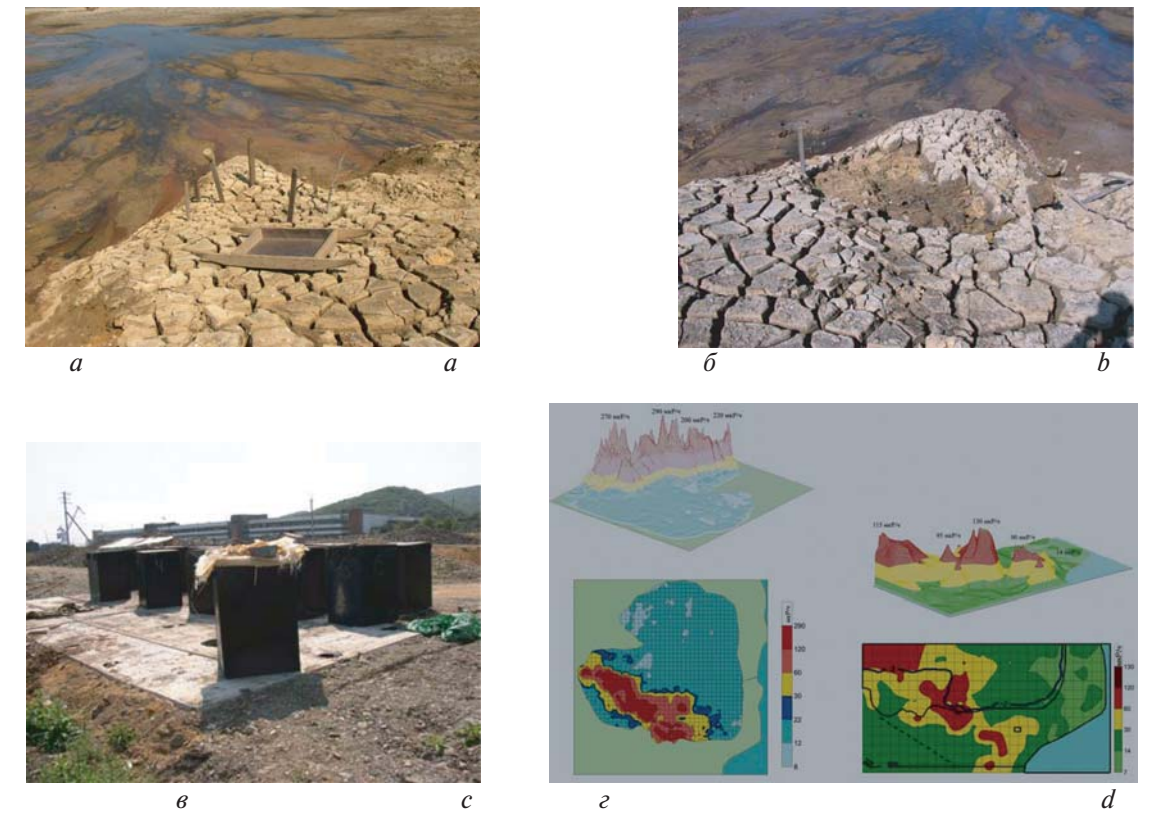


Рис. 8. Удаление радиоактивных отходов: а – оконтуривание области ТРО; б – извлечение ТРО; в – помещение в контейнеры; г – повторное картографирование – промежуточная стадия
 Fig.8. Radwaste Removal: а – mapping of SRW-containing spots; б – SRW removal; в – SRW placing to containers; д – re-mapping – interim stage

were left for natural decontamination, and those with the levels $> 0.3 \mu\text{Sv/h}$ were decontaminated up to $< 0.3 \mu\text{Sv/h}$ using the equipment available. The complete remediation stage consisted of: radiation mapping; independent peer review by supervisory bodies; signing of acceptance statements for SRW, remediated lands and aquatic areas; transfer of remediated areas to economic use (Figs. 6 - 8 [20]).
 Thus, as demonstrated above, the actual approach to industrial waste management is working and does not cause violations of the radiation safety standards in force (NRB-99) developed with consideration for the IAEA recommendations. At the same time it would be unreasonable rejecting individual positive outcomes of investigations achieved in the course of many-year Russian-Norwegian-Swedish cooperation in this field, especially because their implementation may yield economic benefit.
 In particular, the proposals on shifting the bottom specific-activity level for LLW SRW to the area of larger values as compared to those presently in force (MSSA of 10-100 kBq/kg for ^{137}Cs and ^{90}Sr , Table 4) and waste confinement within simplified-type storage facilities deserve special attention. The data of Table 4 show that the level in question may vary from 100 kBq/kg (USA) up to 300 kBq/kg (Sweden). Under

such an approach, the VLLW category might be distinguished within the activity interval for β - γ -emitting radionuclides e.g. from $\sim 100 \text{ kBq/kg}$ to $\sim 370 \text{ kBq/kg}$. All VLLW of the region might be consolidated at Saida LSF and stored within storages of the type 1a and 1b (Fig. 1) during 100 years until a decrease in its activity from 370 kBq/kg down to 100 kBq/kg; next such waste might be transferred to the industrial-waste category to be managed in accordance with the Regulations [16] (Table 13). Simultaneously, the construction of VLLW storage facility at industrial-waste grounds would not require its further displacement. If the duration of Saida LSF functioning were prolonged, such waste would remain under monitoring by a special organization. If not, the industrial-waste ground might be remediated using known procedures.
 If the above-described approach were applied, the expected amount of VLLW would make up $\sim 30\text{-}40\%$ of LLW SRW amount. Thanks to simplification of the management-and-storage procedure, the related expenses would decrease from 7000-14000 €/m³ down to 300-400 €/m³ that on the regional scale would make up tens of millions of savings and would recompense the expenses for reclamation, decontamination, remelting and incineration of industrial waste as well as those for construction of

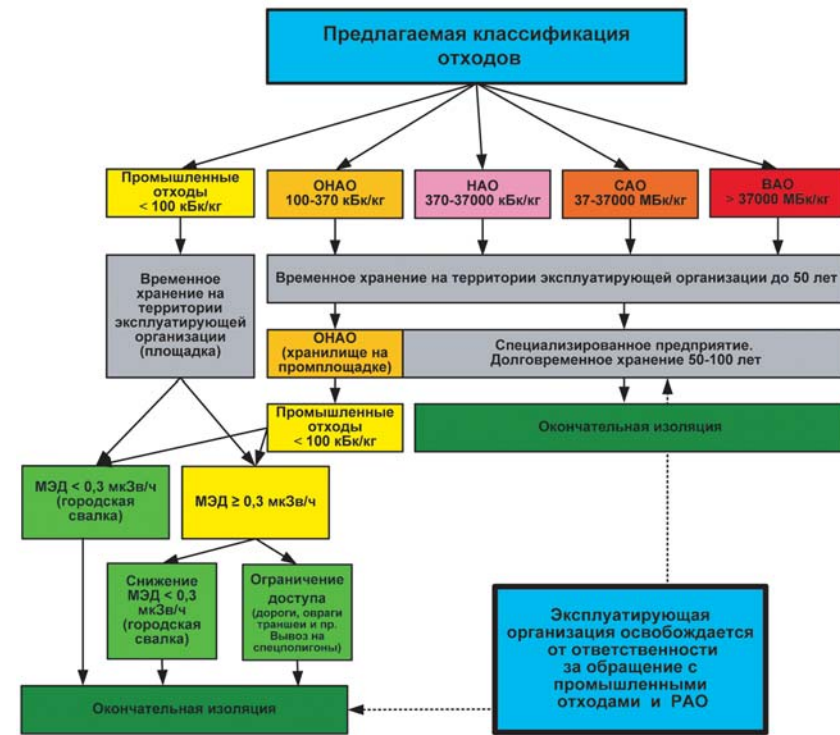


Рис. 9. Комплексный алгоритм обращения с промышленными и радиоактивными отходами, освобождающий эксплуатирующую организацию от ответственности за них

мышленными и радиоактивными отходами, освобождая каждую эксплуатирующую организацию от ответственности за обращение с ними, соответствует действующему законодательству, обеспечен методами и средствами реализации, не противоречит действующим требованиям по обеспечению радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды. При соответствующей модернизации отдельных объектов в интересах других пользователей (например, строительстве полигонов промышленных отходов в ПДХ Сайда и в районе г. Северодвинска, хранилища ОНАО в ПДХ Сайда и пр.) алгоритм позволяет создать непротиворечивую и экономически выгодную систему обращения с промышленными и радиоактивными отходами в масштабе региона (рис. 10).

Заключение. Введение категории СлаО/ОНАО в пределах одного предприятия утилизации или реабилитации, например ПВХ Андреева ФГУП «СеВРАО», с намерением распространить опыт на другие организации не позволяет оптимизировать требования к этой категории отходов, так как уже на начальном этапе не учитывает интересы всех эксплуатирующих организаций, функции и возможности которых не всегда идентичны функциям и возможностям взятого в качестве прототипа объекта. Это обуславливает появление трудно разрешимых проблем и не позволяет создать единую экономически выгодную и безопасную систему обращения с промышленными отходами в Северо-Западном регионе России. Неизбежно возникающие дополнительные экономические затраты неоправданны.

Недостаточная эффективность действующей системы обращения с промышленными и радиоактивными отходами заключается не в отсутствии нормативно-правовой базы или невозможности решения возникающих научно-технических проблем, а в слабом развитии инфраструктуры на отдельных предприятиях и в регионе в целом, модернизация которой сдерживается принципом остаточного финансирования.

В результате рассмотрения состояния проблемы обращения с промыш-

ustrial-waste grounds. Thus, taking into account the approaches currently in use in the Russian Federation, positive international experience and the need for establishing an integrated regional system for management of industrial waste containing radioactive substances in Northwest Russia, its categorization may be represented as follows (Table 14, Fig. 9).

The algorithm (Fig. 9) that exempts all operators from the responsibility for management of industrial and radioactive waste complies with the legislation in force, is provided with methods and implementation procedures and is consistent with the acting requirements on ensuring radiation safety of workers, population and the environment. If an appropriate modernization of individual facilities is made for the sake of other users (e.g. construction of industrial-waste grounds at Saida LSF and in Severodvinsk area; VLLW storage facility at Saida LSF, etc.), the approach described will allow establishing a consistent and economically beneficial system for industrial and radioactive waste management on the regional scale (Fig. 10).

Conclusions. The establishment of VLLW SRW category at only one decommissioning facility / remediation site (e.g. Andreeva Bay TSF of SevRAO) with the intention of further extension of the experience achieved over other facilities/sites does not allow optimization of the requirements to VLLW SRW management because the interests of all operators, which functions and capabilities are not always identical to the prototype facility, are not taken into account even at the initial stage. The use of such an approach would involve a series of tough problems and would give no way of establishing an integrated economically beneficial and safe system for industrial waste management in Northwest Russia. Additional expenses arising inevitably in such a case would be unreasonable.

Though the current system for management of industrial and radioactive waste is not sufficiently efficient, this is not due to the lack of appropriate legal-and-regulatory basis or to the incapability of solving related scientific-and-engineering problems, but to poor development of infrastructure at individual facilities/sites and in the region as a whole which modernization is impeded by the residual-financing approach.

Based on analysis of the actual status of the problem of industrial-and-radioactive waste

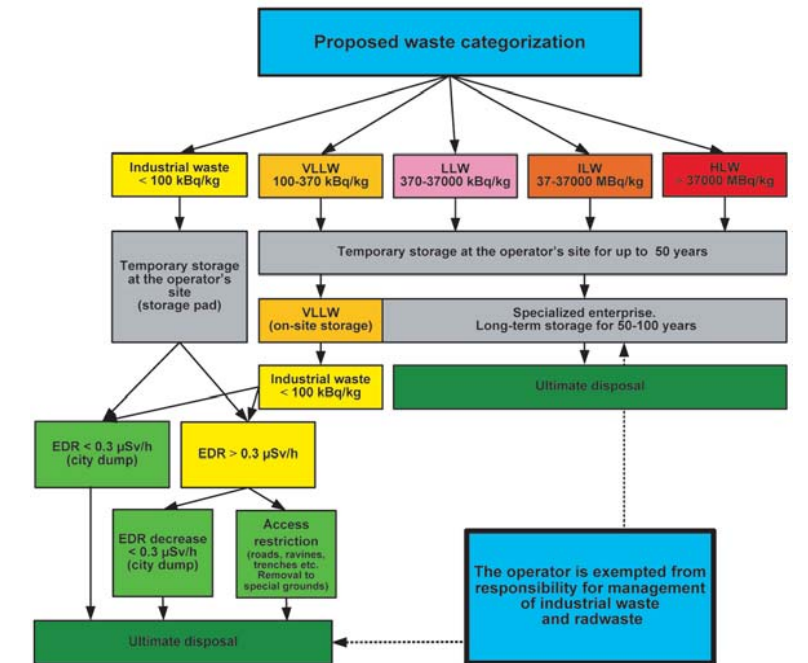


Fig. 9. Integrated Algorithm for Management of Industrial and Radioactive Waste Exempting the Operator from the Relevant Responsibilities

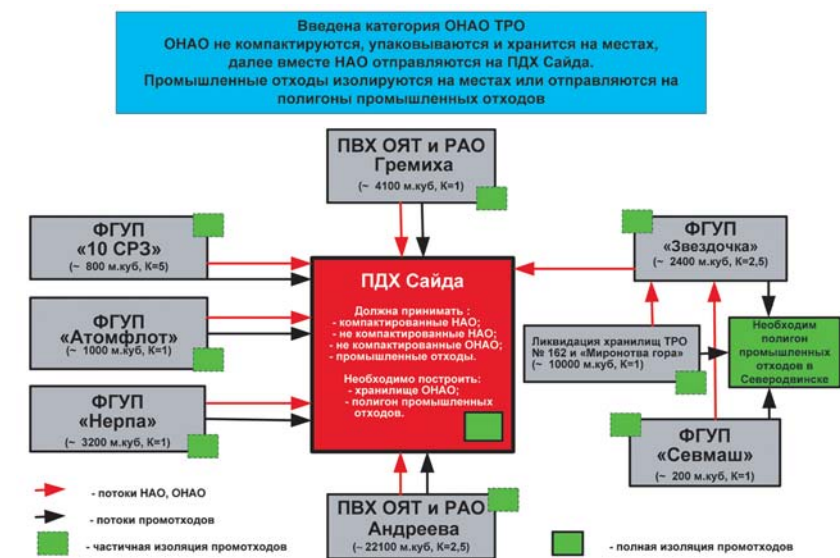


Рис. 10. Предлагаемая функциональная схема обращения с промышленными отходами, отходами особо низкой активности и низкой активности в Северо-Западном регионе России

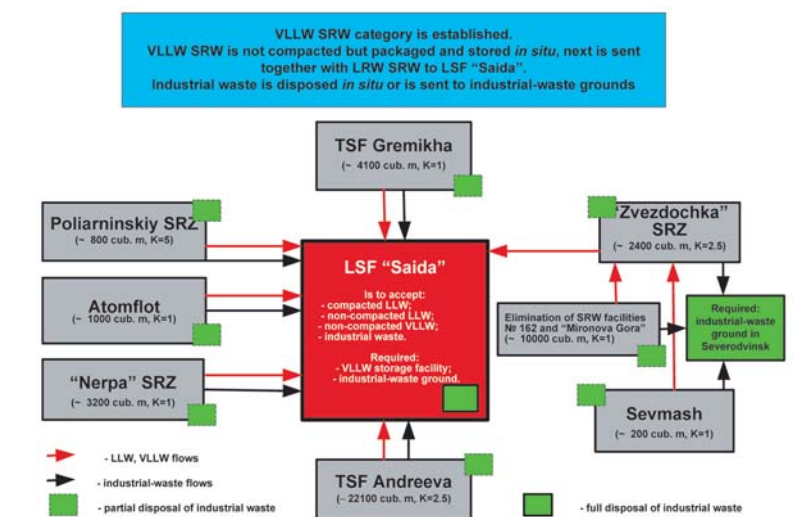


Fig. 10. Proposed Functional Diagram for Management of Industrial Waste, Very-Low-Level Waste and Low-Level Waste in Northwest Russia

ленными и радиоактивными отходами в регионе предлагается комплексная стратегия, которая в действующем правовом поле в короткие сроки позволит освободить каждую эксплуатирующую организацию от ответственности за обращение с ними при соблюдении действующих норм радиационной безопасности. Она менее затратна, так как использует компенсационный подход, не противоречит нормативно-правовым и научно-техническим требованиям по регулированию и контролю за данными видами деятельности в масштабе всего Северо-Западного региона. Однако этот подход требует дальнейшего более тщательного структурного анализа и технико-экономического обоснования в целях нахождения оптимального «минимум затрат – максимум безопасности на каждом предприятии и в регионе в целом». Реализация этой стратегии потребует в дальнейшем рассмотрения вопросов, связанных с дополнительным строительством полигонов промышленных отходов на ПДХ Сайда (хранительские наземного или приземного типа для ОНАО ТРО) и в г. Северодвинске на базе городского полигона, уточнения показателей, характеризующих эти отходы, изменения условий сортировки, контейнерирования, компактирования, транспортировки и решения других необходимых вопросов.

Список литературы

1. **Основные** санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). М.: Минздрав России. 2000.
2. **Гигиенические** требования к обращению с промышленными отходами на Федеральном государственном предприятии «Северное федеральное предприятие по обращению с радиоактивными отходами» (Р ОНАО СевРАО-08). М.: Руководство Р 2.6.4.04 – 08. 2008. 31
3. **Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Васильев А.П., Высоцкий В.Л. и др.** Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию (Белая книга-2000). М.: ИздАТ. 2005.
4. **Strategic Master Plan for Decommissioning the Retired Russian Nuclear Fleet and Environmental Rehabilitation of Its Supporting Infrastructure in NorthWest Russia.** М.: Foundation for Environmental Safety of Engineering (IBRAE RAS). Part I-III. 2007.
5. **Нормы** радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1.758-99. М.: Минздрав России. 1999.
6. **Терентьев В.Г., Малинкин В.М., Кочетков О.А. и др.** Разработка предложений по усовершенствованию нормативной правовой базы в сфере комплексной утилизации АПЛ и экологической реабилитации ПВХ ОЯТ и РАО. М.: ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ», Стратегический мастер-план. СИ-8. 2006.
7. **Deregel C., Peres J.M., Cessac B., Francois P.** Issues in Decommissioning and Remediation of Nuclear Legacy Sites. IRSN, France// М.: NATO Workshop Challenges in Radiation Protection and Nuclear Safety Regulation of the Nuclear

Legacy. Moscow region, Russia, Ershovo 25-27 September, 2007.

8. **Walker S.** U.S. EPA Superfund Radiation Policy and Guidance// Ibid.
9. **Hawkins A.** Regulation at Hanford. U.S. Department of Energy Richland Operations Office// Ibid.
10. **Vysotskiy V.I., Bogatov S.A., Bolshov A.A. et al.** Radioactive Waste Management Problems Caused by Nuclear and Radiation Hazardous Naval Objects under decommissioning and Rehabilitation in the NorthWest Russia//The II International Nuclear Forum. October 2-5, 2007. – St. Petersburg. P.108-110.
11. **Андреева Д. Е., Гелбутовский А. Б. и др.** Существующая практика и экономические аспекты проблемы обращения с металлическими радиоактивными отходами// Международная конференция «Безопасность ядерных технологий». С.-П. 26-30 сентября 2005г.
12. **Васильев А.П.** Сравнение подходов в разных странах к проблемам обращения с радиоактивными отходами// 12-й международный симпозиум «Урал атомный, Урал промышленный». Екатеринбург, февраль 2005 г.
13. **MicroShield. Version 5. User's Manual.** Grove Engineering 1700 Rockville Pike, Suit 525 Rockville, Maryland 20852. Copyright 1992-1998 Grove Engineering.
14. **Саркисов А.А., Высоцкий В.Л., Кузнецова Т.И. и др.** Радиационно-гигиеническое обследование предлагаемой территории размещения завода в пункте Видяево. М.: ИБРАЭ РАН, РНЦ КИ. 2005.
15. **Кочетков О.А., Малгорзата К. Сневе, Грахат Смит и др.** Предварительная оценка обстановки. Радиационные риски, обусловленные деятельностью объектов СевРАО, находящихся в сфере надзора ФМБА. Остерос. Норвежское Управление по радиационной защите. 2005.
16. **Высоцкий В.Л., Денскевич А.В., Кмитто А.Н. и др.** Радиационное обследование акватории губы Андреева и территории г. Заозерск. М.: ИБРАЭ РАН, СФ. 2003.
17. **Временные** критерии по принятию решений при обращении с почвами, твердыми строительными, промышленными и другими отходами, содержащими гамма-излучающие радионуклиды. М.: Утверждены государственным санитарным врачом РФ Е.Н. Беляевым 05.06.1992 г. Включены в список действующих документов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору П-01-01 2006 г.
18. **Гигиенические** требования к обеспечению радиационной безопасности при заготовке и реализации металлолома (СанПиН 2.6.1.993-00). М.: Минздрав РФ. 2001.
19. **Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Данилян В.А.** Радиозоологические последствия тяжелой радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма в 1985 г.// Атомная энергия. 1994. Т.76. Вып. 2. С. 158-160.
20. **Высоцкий В.Л., Максимов А.А., Лукьянец А.И. и др.** Реабилитация озера-котлована в интересах хозяйственной деятельности. Владивосток.: ТОФ. 2002.

management in Northwest Russia, an integrated strategy has been proposed enabling exemption of each operator - within the acting regulatory framework and in a short space of time – from the responsibility for their management, the radiation safety standards in force being observed. Thanks to the use of a compensation approach, the proposed strategy is less expensive and is consistent with regulatory, scientific and engineering requirements on regulation and supervision of the said activities on the regional scale. Such an approach, however, necessitates further more careful structural analysis and feasibility studies to achieve an optimal correlation of “minimal expenses – maximum safety at each facility/site and in the whole region”. The strategy implementation will also necessitate consideration of the issues related to additional construction of industrial-waste grounds at Saida LSF (subsurface/above-ground storages for VLLW SRW) and in Severodvinsk (on the existing city dump basis), specification of waste indices, upgrading of waste assortment, packaging, compacting and shipment conditions and solution of other related issues.

References

1. **The Basic Sanitary Radiation Safety Regulations (OSPORB-99)** (2000) Minzdrav of the Russian Federation, Moscow, P. 98 (in Russian).
2. **Hygienic Requirements to Industrial Waste Management at the Federal State Unitary Enterprise SevRAO. Guidelines R 2.6.4.04 – 08** (2008), Moscow, P. 31 (in Russian).
3. **Sivintsev, Yu. V., Vakylovskiy, S.M., Vasiliev, A.P., Vysotskiy, V.L. et al.** Technogenic radionuclides in the seas surrounding Russia (Waite Book-2000). Moscow, IzdAT, 2005. – 624 p. (in Russian).
4. **Strategic Master Plan for Decommissioning the Retired Russian Nuclear Fleet and Environmental Rehabilitation of Its Supporting Infrastructure in Northwest Russia, Parts I-III** (2007), Foundation for Environmental Safety of Power Engineering (IBRAE RAS), Moscow, P. 525.
5. **Radiation Safety Standards (RSS-99)** (1999), Minzdrav of the Russian Federation, Moscow, P. 115 (in Russian).
6. **Terentiev, V. G., Malinkin, V. M., Kochetkov, O.A., et al.** (2006) Development of Proposals on Improvement of the Legal and Regulatory Basis for Complex Decommissioning of Nuclear Submarines and Environmental Remediation of Temporary Storage Facilities for Spent Nuclear Fuel and Radwaste, in: *Strategic Study No 8 under the Strategic Master Plan*, TSNIATOMINFORM, Moscow, P. 63 (in Russian).
7. **Deregel, C., Peres J., Cessac, B., et al.** (2007) Issues in Decommissioning and Remediation of Nuclear Legacy Sites, in: “Challenges in Radiation Protection and Nuclear Safety Regulation of the Nuclear Legacy”, NATO Workshop, 25-27 September, 2007, Ershovo, Moscow region, Russia.
8. **Walker, S.** (2007) Radiation Policy and Guidance, in: “Challenges in Radiation Protection and Nuclear Safety Regulation of the Nuclear Legacy”, NATO Workshop, 25-27 September, 2007, Ershovo, Moscow region, Russia.
9. **Hawkins, A.I.** (2007) Regulation at Hanford, in: “Challenges in Radiation Protection and Nuclear Safety Regulation of the Nuclear Legacy”, NATO Workshop, 25-27 September, 2007, Ershovo, Moscow region, Russia.
10. **Vysotskiy, V.I., Bogatov S. A., Bolshov, A. A., et al.** (2007) Radioactive Waste Management Problems Caused by Nuclear and Radiation Hazardous Naval Objects under Decommissioning and Rehabilitation in Northwest Russia, *The II International Nuclear Forum. October 2-5, 2007*, St. Petersburg, pp. 108-110.
11. **Андреева, Д. Е., Гелбутовский, А. Б. et al.** (2005) Current practice and economic aspects of the problem of metallic radwaste management, in: *Proceedings of the International Conference “Safety of Nuclear Technologies”*, St-Petersburg, September 26-30, 2005r(in Russian).
12. **Vasiliev, A.P.** (2005) Comparison of approaches to radwaste management used in different countries, in: *Proceedings of the 12th International Symposium “Nuclear Ural - Industrial Ural”*, Ekaterinburg, February 2005 (in Russian).
13. **MicroShield. Version 5. User's Manual.** (1992-1998) Grove Engineering, Rockville, Maryland.
14. **Sarkisov, A.A., Vysotskiy, V.L., Kuznetsova, T.I., et al.** (2005) *Radiation and Hygienic Survey of Proposed Facility Siting in Vidyaevo*, IBRAE RAS – RRC KI, Moscow, P. 178 (in Russian).
15. **Il'yn, L., Kochetkov, O., Simakov, A., Shandal, N., Savkin, M., Sneve, M., Borretzen, P., Jaworska, A., et al.** (2005) *Initial Threat Assessment. Radiological Risks Associated with SevRAO Facilities Falling within the Regulatory Supervision Responsibilities of FMBA*, Norwegian Radiation Protection Authority, Osteros, Norway, P.66 (in Russian).
16. **Vysotskiy, V.L., Denskevich, A.V., Kmitto, A.N., et al.** (2003) *Radiation Survey of Andreeva Bay Aquatic Area and Zaozersk-town Territory*, IBRAE RAS, Moscow, P.43 (in Russian).
17. **Temporary Decision-making Criteria for Management of Soils, Solid Building, Industrial and Other Waste Containing Gamma-emitting Radionuclides** (2006) Approved on 05.06.1992 and included into the acting documents of the Russian Federal Service for Environmental, Technology and Atomic Supervision, Moscow, P. 2 (in Russian).
18. **Hygienic Requirements on Ensuring Radiation Safety while Stocking and Selling Scrap Metal** (2001), SanPin 2.6.1.993-00, Minzdrav of the Russian Federation, Moscow, P. 16 (in Russian).
19. **Sivintsev, Yu.V., Vysotskiy, V.L. and Danilyan, V.A.** (1994) Radioecological consequences of a severe radiation accident at nuclear submarine in Chazhma Bay in 1985, *J. Atomnaya Energiya (Atomic Energy)*, 76(2), pp. 158-160 (in Russian).
20. **Vysotskiy, V.L., Maksimov, A.A., Lukianets, A.I., et al.** (2002) *Environmental Remediation of Lake-Excavation Area*, Russian Pacific Fleet Publishers, Vladivostok, P.14 (in Russian).