

Наследие Чернобыля и трансъевропейский водный путь E40



Исследование выполнено по заказу Франкфуртского зоологического общества

Январь 2020

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ	
Цели	Анализ радиоактивного загрязнения
Организация	Франкфуртское зоологическое общество
Предложение	PR190521(01)-SZF-v1

АНАЛИЗ	
Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest ул. де л'Эглиз 138 14200 Эрувиль-Сен-Клер Франция www.acro.eu.org телефон: +33 (0) 2.31.94.35.34/e-mail: acro@acro.eu.org SIRET 950 369 868 00027 APE 7120 B	
Авторы	Дэвид Бойли, Ала Пигре, Пьер Барби
Изображение на обложке	Река Припять © Ольга Каскевич

ДОКУМЕНТ	
Дата публикации	Январь 2020 г.
Название файла	RAP_E40_en
Версия	01
Количество страниц	46 страниц
Название документа	Наследие Чернобыля и трансевропейский водный путь E40

УСЛОВИЯ	
Со стороны ACRO	Воспроизводство документа в каком-либо виде разрешено только при передаче с помощью системы факсимильной связи

--

Краткий обзор

Целью создания водного пути E40 является соединение Черного моря с Балтийским через Днепр и Припять. Водосборный бассейн Днепра полностью загрязнен вследствие аварии на Чернобыльской АЭС 1986 года. Кроме того, Припять пересекает зону отчуждения Чернобыльской АЭС и проходит непосредственно рядом с АЭС. Цель исследования – дать первую оценку радиологического воздействия, которое может возникнуть при создании и обслуживании E40.

Два важных радиоэлемента с точки зрения общественного здравоохранения – цезий-137 и стронций-90. Цезий-137 связывается с глинистыми отложениями, в то время как стронций-90 более подвижен. Кроме того, америций-241, дочернее ядро плутония-241, является высокотоксичным элементом, чье воздействие на окружающую среду растёт с каждым днем и в будущем займет доминирующее положение среди элементов, оказывающих на нее наиболее губительное воздействие.

В зоне риска находятся два участка МАГАТЭ с высоким уровнем радиологического заражения. Пойма реки Припять в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС становится опасной, если она заливается, том числе и вследствие строительства плотин. Чернобыльский пруд-охладитель становится угрозой в случае прорыва плотины, которая отделяет его от Припяти. Кроме того, Киевское водохранилище сильно загрязнено цезием-137 и может стать еще одним участком с высоким уровнем радиоактивного заражения в случае нарушения отложений.

Основываясь на анализе риска, строители в Чернобыльской зоне отчуждения будут наиболее подвержены радиологическому воздействию: внешнее воздействие для них может достигать доз выше 10 мЗв/год и приблизиться к европейскому лимиту, установленному на уровне 20 мЗв/год. Загрязнение питьевой воды, рыбы и использование донных отложений в качестве удобрения на полях может привести к дополнительному радиоактивному заражению населения, зависящего от Припяти и Днепра в хозяйственном отношении.

Орхусская конвенция и конвенция Эспо, а также принцип радиационной защиты МКРЗ требуют проведения экологических и радиологических исследований, обоснования проекта и участия заинтересованных сторон и широкой общественности в процессе принятия решений, до их реализации.

Строительство E40 окажет радиологическое воздействие на строителей и население, жизнедеятельность которого зависит от рек. Наличие каких-либо рисков для строителей в зоне отчуждения недопустимо. Кроме того, пруд-охладитель и хранилища радиоактивных отходов вблизи реки Припять все еще не выведены из эксплуатации. И последнее, но не менее важное замечание: МАГАТЭ рекомендует оставить загрязненные отложения в Киевском водохранилище на месте во избежание воздействия на население, живущее ниже по течению. В этом контексте строительство E40 не представляется возможным.

Содержание

Краткий обзор.....	3
Содержание	4
1. Введение.....	6
2. Уровень радиоактивного загрязнения вдоль пути E40.....	10
2.1 <i>Весь водосборный бассейн Днепра загрязнен вследствие Чернобыльской аварии</i>	<i>10</i>
2.2 <i>Характеристики загрязнения окружающей среды</i>	<i>11</i>
2.2.1 Основные радиоэлементы	11
2.2.2 Карты и базы данных	12
2.2.3 Загрязнение вдоль каскада Днепра	13
2.3 <i>Влияние паводка на пойме Припяти и меры по ликвидации его последствий.....</i>	<i>15</i>
2.4 <i>Участки с высоким уровнем радиоактивного заражения</i>	<i>16</i>
2.5 <i>Выводы и рекомендации МАГАТЭ</i>	<i>17</i>
3. Создание и техническое обслуживание водного пути E40.....	18
3.1 <i>Описание</i>	<i>18</i>
3.2 <i>Дноуглубительные работы</i>	<i>20</i>
3.3 <i>Основное радиологическое воздействие</i>	<i>21</i>
4. Возможные сценарии воздействия (облучения) и дозы	23
4.1 <i>Принципы защиты от радиации</i>	<i>23</i>
4.1.1 Принципы Международной комиссии по радиологической защите	23
4.1.2 Участие заинтересованных сторон и участие общественности	25
4.1.3 Максимально допустимые дозы и контрольные уровни	25
4.2 <i>Оценка текущей дозы загрязнения водосборного бассейна Днепра.....</i>	<i>26</i>
4.3 <i>Оценка дозы воздействия (облучения), связанного с работой на водном пути E40</i>	<i>28</i>
4.3.1 Рабочие в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС	28
4.3.2 Загрязнение воды в Днепре	29
4.3.3 Вверх по течению вдоль зоны отчуждения Чернобыльской АЭС	31
5. Выводы.....	33
Библиография	35
<i>Издавания для служебного пользования:</i>	<i>35</i>
<i>Научные публикации:</i>	<i>37</i>
Приложение: карты участков заражения	38
<i>Белорусские карты</i>	<i>38</i>
Карты участков заражения зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, 2009 г.	38

Цезий-137:.....	38
Стронций-90:	39
Плутоний-238, 239, 240:	40
Плутоний-241:	41
Америций-241:.....	42
Карты загрязнения южной части Беларуси цезием, 2016 г.	43
Гомельская область:.....	43
Брестская область:.....	44
Реконструкция карты загрязнения цезием вдоль реки Припять (2016 г.).....	44
<i>Украинские карты</i>	45
Зона отчуждения	45
Цезий-137 (май 2011 г.)	45
Стронций-90 (май 2011 г.).....	46
Изотопы плутония.....	47
Америций-241	48

1. Введение

Целью создания международного водного пути E40 является соединение Балтийского и Черного морей, от Гданьска до Херсона, по польской, белорусской и украинской территории. См. Рис. 1. В настоящее время маршрут судоходен только от Черного моря до польско-белорусской границы. Днепр подходит для крупных судов (водный путь V класса). Для этого требуется провести некоторые дноуглубительные работы и модернизацию шлюзов. Основная задача заключается в модернизации других проблемных участков. Беларусь подчеркивает важность создания E40 и начинает реализацию программы модернизации гидротехнической инфраструктуры и транспортных каналов.

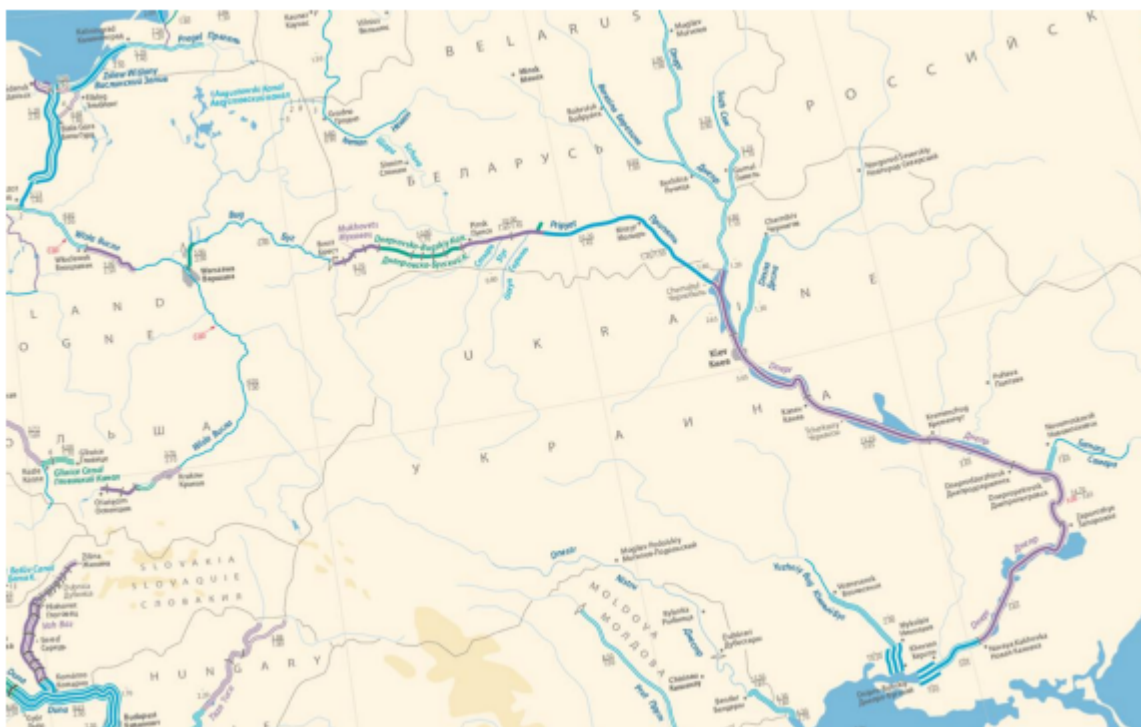


Рисунок 1: Карта проекта водного пути E40. Взято из [UNECE2012].

По такому огромному проекту доступно пока только очень небольшое количество документов. В основном информация взята из Отчета о ТЭО, согласованном Морским институтом в Гданьске [MIG2015]. Насколько нам известно, до настоящего времени не было проведено детального исследования воздействия на окружающую среду, за исключением независимого исследования воздействия на гидрологические и экологические условия соседних рек и водно-болотных угодий [FZS2019]. Планируется, что водный путь E40 будет проходить через Полесье – крупнейшую нетронутую территорию дикой природы в Европе. Вероятно, что его разработка представляет высокий риск деградации для наиболее естественных участков Припяти в Припятском национальном парке (Прыпяцкі нацыянальны парк). Кроме того, часть проекта включает в себя модернизацию Припяти, на участке, протекающем в непосредственной близости от Чернобыльской АЭС и через Полесский государственный радиэкологический заповедник в зоне отчуждения, которая сильно загрязнена различными радиоэлементами. На Рисунках 2, 3 и 4 показано осаждение на поверхности земли цезия-137, стронция-90 и плутония-239 + 240, составляющих основную долю среди элементов, вызывающих радиоактивное загрязнение. Другие аналогичные карты представлены в приложении в конце документа. Следует обратить внимание, что плутоний-241 распадается на америций-241, концентрация которого в настоящее время достигает значительных уровней. В этой области вниз по течению около

8 миллионов украинцев пьют воду непосредственно из Днепра, а до 20 миллионов едят продукты, орошаемые водой из Днепра.

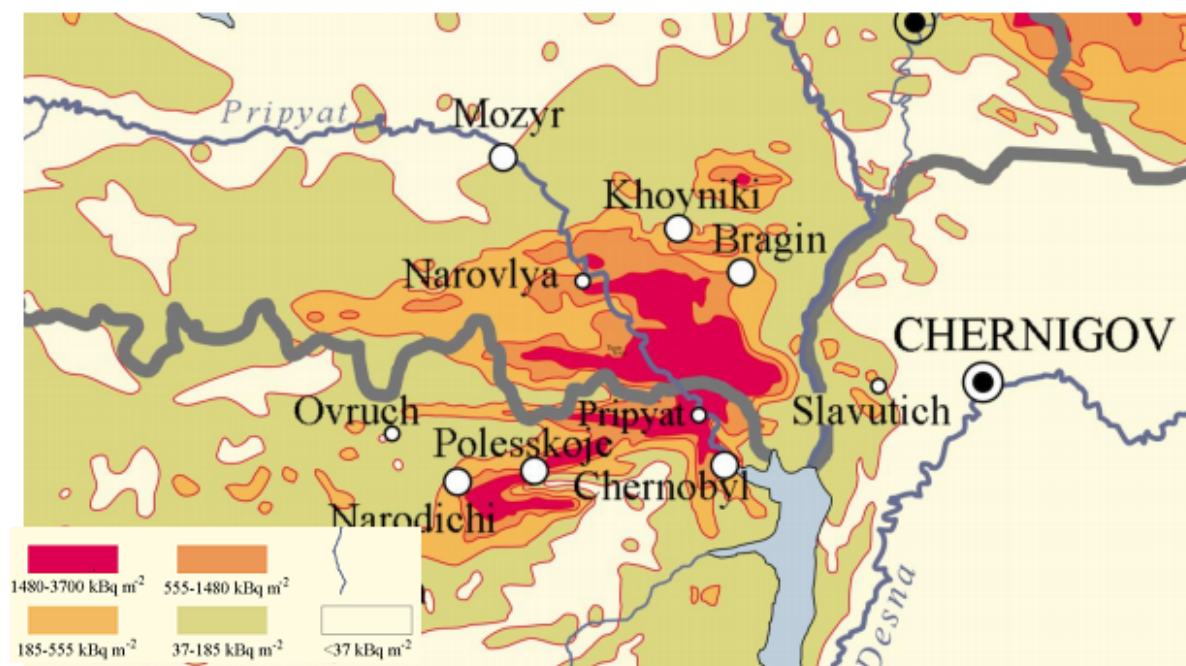


Рисунок 2: Карта оседания цезия-137 на поверхности почвы вдоль Припяти возле Чернобыльской АЭС. Взято из [UNSCEAR2000].

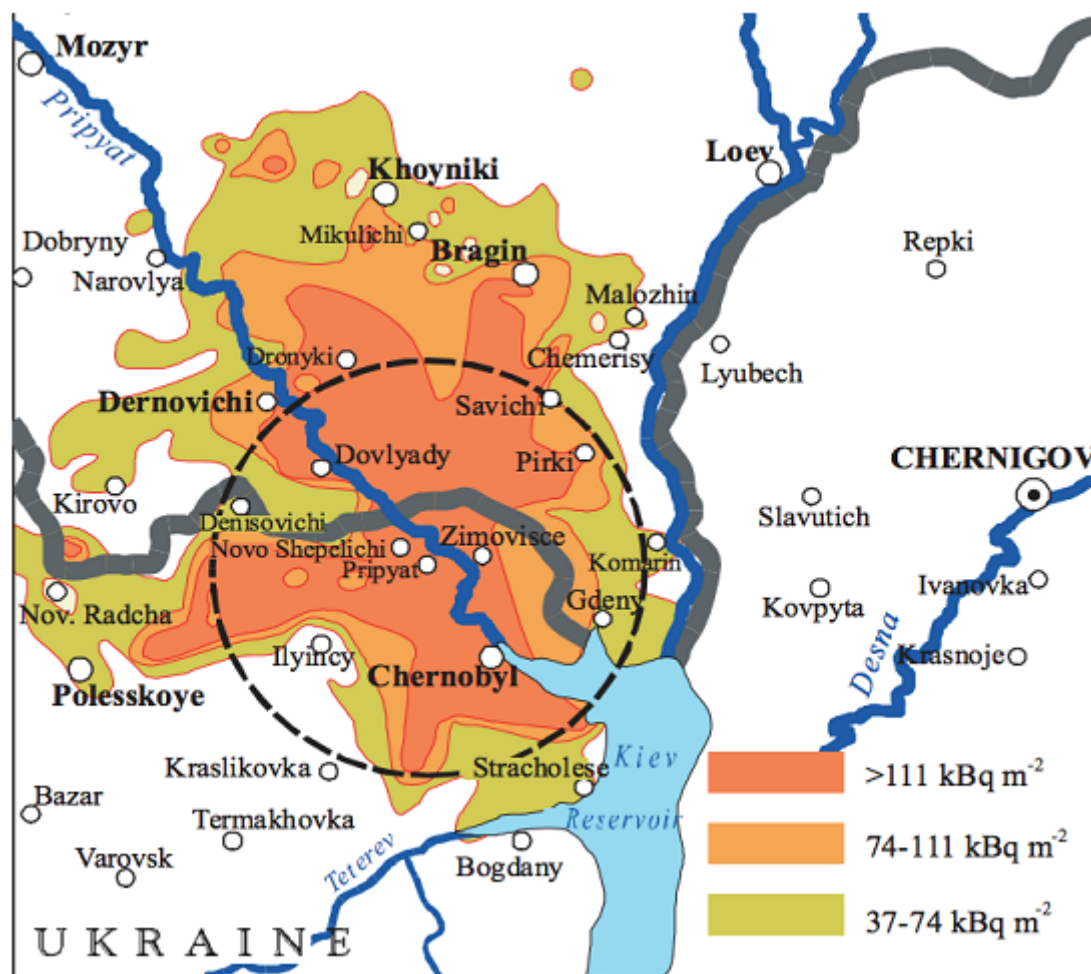


Рисунок 3: Карта оседания стронция-90 на поверхности почвы вдоль Припяти возле Чернобыльской АЭС. Взято из [IAEA2006b].



Рисунок 4: Карта оседания плутония на поверхности почвы вдоль Припяти возле Чернобыльской АЭС: области (выделенные оранжевым), на которых оседание плутония-239, 240 на поверхности почвы превышает $3,7 \text{ кБк/м}^2$. Взято из [IAEA2006b].

В связи с этим оценка радиологического воздействия проекта водного пути E40 должна была быть проведена его организаторами и сторонниками, а ее результаты представлены заинтересованным сторонам и общественности, как того требует Орхусская конвенция¹ о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды. Такая экспертиза должна быть трансграничной, в соответствии с требованиями конвенции Эспо², принятой Беларусью и ратифицированной Польшей и Украиной³. Поскольку до сих пор это не было сделано, основная цель настоящего доклада состоит в том, чтобы дать первую оценку радиологического воздействия проекта водного пути E40.

«Синяя книга» ООН определяет «узкие места» в сети основных внутренних водных путей Европы, имеющих международное значение, но не упоминает радиоактивность для E40: единственной проблемой, по их мнению, является низкая разрешенная осадка судов. [UNECE2017].

¹ <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/pp/documents/cep43e.pdf>

² https://www.unece.org/env/eia/about/eia_text.html

³ https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-4&chapter=27&lang=en

2. Уровень радиоактивного загрязнения вдоль пути E40

Данный раздел в основном содержит информацию из [IAEA2006a, IAEA2006b, Onishi2007].

2.1 Весь водосборный бассейн Днепра загрязнен вследствие Чернобыльской аварии

Чернобыльская АЭС расположена в пойме реки Припять на севере Украины в пределах бассейна реки Днепр, в непосредственной близости к границе с Беларусью. В результате аварии на Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 года в воздух и в пруд-охладитель было выброшено огромное количество радиоактивных элементов. Пруд, в настоящее время отделенный от реки Припять плотиной, был сильно загрязнен во время аварии и при последующем сбросе в него жидких радиоактивных отходов. Выпадение радионуклидов было происходило в основном в верховьях Днепра на территории России и Беларуси и по всему Припятскому бассейну. См. карты в приложении. Многие исследования и мероприятия по ликвидации последствий аварии были направлены на минимизацию переноса радионуклидов из зоны отчуждения в близлежащую реку Днепр для снижения радиологических рисков при использовании воды.

Река Днепр – самая большая река в Украине – обеспечивает 64 процента потребностей Украины в воде и широко используется для орошения. Около 30 процентов воды, потребляемой в бассейне реки Днепр, используется для сельского хозяйства (вода для орошения, получаемая из Днепра, составляет почти 4700 миллионов м³ в год). Днепр орошает около 1,6 миллиона из 2,6 миллиона гектаров (га) земли в Украине (середина 1990-х годов).

Наибольшие площади орошаемых земель используются для выращивания зерновых (рис, озимая и яровая пшеница, ячмень) и кормовых культур (кукуруза, горох, сахарная свекла, клевер и люцерна). Овощи (картофель, помидоры, огурцы, капуста, лук, морковь, красная свекла ...) и фрукты выращиваются на орошаемых участках в меньшей степени.

Киевское водохранилище является самым верхним водохранилищем Днепровского каскада, состоящего из 6 водохранилищ, и наиболее загрязнено в результате последствий аварии 1986 года. Как следствие, потребление рыбы из Киевского водохранилища является одной из основных причин индивидуального заражения радионуклидами среди населения.

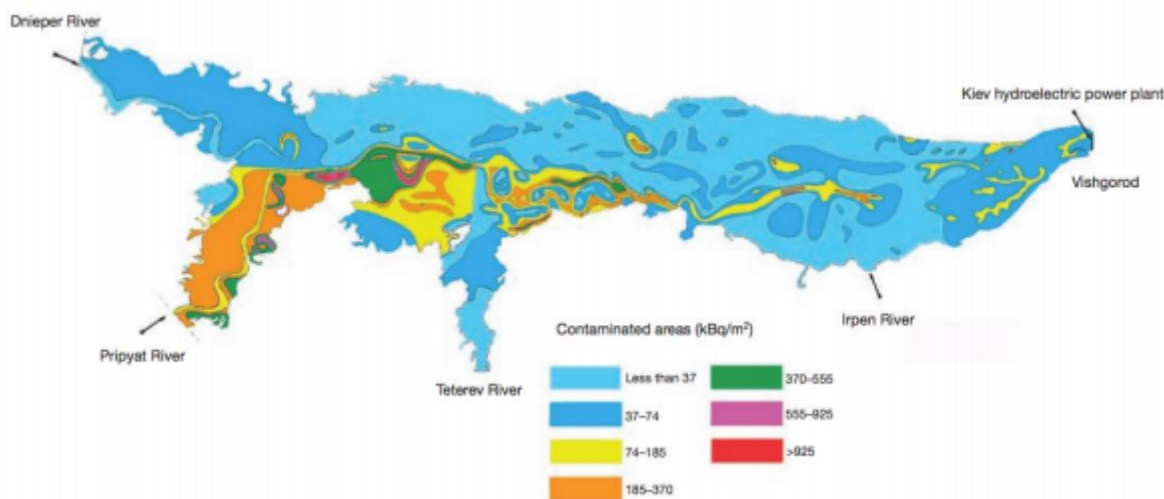


Рисунок 5: Цезий-137 в донных отложениях Киевского водохранилища. Воспроизведено из [IAEA2006b].

2.2 Характеристики загрязнения окружающей среды

2.2.1 Основные радиоэлементы

В настоящее время цезий-137 (^{137}Cs , период полураспада 30 лет) и стронций-90 (^{90}Sr , период полураспада 29,1 года) являются наиболее важными радиоэлементами с точки зрения охраны окружающей среды и здоровья населения⁴. По данным МАГАТЭ [IAEA2006a], примерные запасы в основных реках и притоках водосборного бассейна реки Днепр составляют около 19 ПБк ^{137}Cs и 2,2 ПБк ^{90}Sr (1 ПБк = 10^{15} Бк). Эти два элемента воздействуют на окружающую среду и организм человека по-разному. Цезий ведет себя как калий, а стронций – как кальций (следовательно, стронций является «остеотропом (искателем костей – досл.)»). Таким образом, цезий легко поглощается глинистыми минералами, часто встречающимися в природных почвах. Соединение цезия с почвой замедляет его горизонтальную и вертикальную миграцию. Стронций менее прочно связан с ископаемыми веществами и, следовательно, более подвижен в окружающей среде.

Как правило, цезий-137 связывается с глинистыми отложениями, которые откладываются в более глубоких участках водохранилищ, особенно это заметно по Киевскому водохранилищу. Из-за этой особенности через каскады проходит очень мало ^{137}Cs , и поэтому нынешняя концентрация, зафиксированная в Черное море, совпадает с фоновым значением. Однако, несмотря на то, что концентрация ^{90}Sr уменьшается по мере удаления от источника (в основном из-за разбавления), около 40-60% проходит через каскад и достигает Черного моря.

Как показано на Рисунке 4 и в приложении к картам, плутоний также откладывается и загрязняет зону отчуждения. Плутоний-241 распадается на америций-241 с периодом полураспада в 14 лет. Америций-241 (^{241}Am) является альфа-гамма-излучателем с периодом полураспада в 432 года, который постепенно накапливается в окружающей среде из-за различий в периодах полураспада. В свою очередь, в результате альфа-распада ^{241}Am образование Нептуния-237 (^{237}Np) с периодом полураспада $2,1 \times 10^6$ лет происходит медленнее. Эти радионуклиды высокотоксичны и классифицируются как наиболее опасные,

⁴ Цезий-137 с его короткоживущим дочерним изотопом $^{137\text{m}}\text{Ba}$, испускает бета- и гамма-излучение; ^{90}Sr со своей короткоживущим дочерним изотопом $^{90\text{Y}}$ испускает сильное бета-излучение.

поскольку имеют два вредных эффекта: радиоактивность и эффект отравления тяжелыми металлами. Америций-241 более опасен при вдыхании, чем при приеме внутрь, и он накапливается в печени и костном мозге в результате переноса кровью. Он имеет значительно более высокое повреждающее воздействие, чем ^{90}Sr и ^{137}Cs , особенно в случае внутреннего заражения.

Максимальные концентрации плутония, зафиксированные в Припяти в первые дни после аварии, составляли около 370 мБк/л (10 пКи/л), но к августу 1986 года снизились до 7,4 мБк/л (0,2 пКи/л). Они были в четыре раза ниже максимально допустимого уровня растворенного плутония для питьевой воды. 98% объема плутония в водоемах приходилось на взвешенные и донные отложения. Поэтому при проведении полевых и экспериментальных исследований радиоактивного загрязнения водоемов основное внимание уделялось стронцию-90 и цезию-137 [PLN1994].

Содержание америция-241 измерялось в водной биоте, и, по прогнозам, его концентрация будет возрастать до 2070 года, когда, как ожидается, он станет наиболее важным фактором загрязнения. Его подвижность в водной среде выше, чем в почве, что способствует его быстрому входу в трофические сети водоемов [Голубев2011]. Однако америций игнорируется большинством представителей «серой» литературы по радиологическому влиянию аварии на Чернобыльской АЭС и оценке доз. Учитывая сроки выполнения проекта E40, это должно быть принято во внимание.

Кроме того, в результате аварии были выброшены так называемые горячие частицы, которые, несмотря на небольшие размеры, являются интенсивными источниками излучения. Хотя они были обнаружены по крайней мере в 11 странах, большинство из них осело вблизи Чернобыльской АЭС: в 30-километровой зоне отчуждения зафиксировано до 105 частиц на квадратный метр. Вероятно, общая масса мелких радиоактивных частиц, выброшенных из реактора, составила 6-8 тонн. Были идентифицированы два типа микрочастиц: большинство имело состав, очень похожий на состав топлива в активной зоне, и, вероятно, они были просто фрагментами этого топлива; другие частицы – с более высокой удельной активностью и содержащими только один или два радионуклида [Sandalls1993]. Размеры осажденных топливных частиц варьировались от сотен микрон до доли микрона. Осаждение топливных частиц уменьшалось с увеличением расстояния от реактора. В почве топливные частицы распались практически полностью в течение 10 лет. Противоположная ситуация наблюдалась в пруде-охладителе Чернобыльской АЭС, где подавляющее большинство долгоживущей радиоактивных элементов откладывалось в виде топливных частиц: большая часть активного ^{90}Sr все еще находится в виде топливных частиц. Однако в настоящее время эти условия меняются, поскольку пруд осушается, а значительная часть отложений подвергается воздействию воздуха. Это значительно повышает скорость растворения топливных частиц в открытых отложениях, и, следовательно, ожидается, что подвижность и биодоступность радионуклидов со временем увеличатся. Модельные расчеты показали, что во вновь открытых отложениях топливные частицы будут почти полностью растворены через 15-25 лет, в то время как в частях водоема, которые остаются затопленными, этот процесс займет около 100 лет [Onishi2007, Beresford2016].

2.2.2 Карты и базы данных

В Японии после аварии на АЭС «Фукусима» официальные карты загрязнения были предоставлены онлайн⁵ вместе с базой данных, в которой собраны результаты измерений

⁵ <https://ramap.jmc.or.jp/map/eng/>

стихийных перемещений⁶. Также в общем доступе имеется много местных крупномасштабных карт, созданных местными властями и/или гражданами. В Беларуси и Украине подобные подробные карты загрязнения не доступны в режиме онлайн. Данные измерений официального мониторинга также отсутствуют. Небольшое количество данных, связанных с некоторыми конкретными исследованиями, можно найти в научных публикациях, но их слишком мало для детальной оценки влияния радиоактивного загрязнения.

Орхусская конвенция, принятая Беларусью и ратифицированная Украиной⁷, требует, чтобы *«Каждая Сторона обеспечивает постепенное увеличение объема экологической информации в электронных базах данных, являющихся легкодоступными для общественности через публичные сети связи»*. Кроме того, *«каждая Сторона через регулярные интервалы, не превышающие три или четыре года, публикует и распространяет национальный доклад о состоянии окружающей среды, включая информацию о качестве окружающей среды и информацию о нагрузке на окружающую среду»*. Беларусь и Украина должны выполнять свои международные обязательства и публиковать все имеющиеся данные об уровне радиоактивного загрязнения.

2.2.3 Загрязнение вдоль каскада Днепра

Существенное влияние на 6 водохранилищ, расположенных на Днестре оказали как атмосферные осадки, так и непосредственные выбросы из загрязненной зоны. Эти водохранилища представляют собой огромные отстойники, поскольку замедление прохождения воды через каскад предоставляет идеальные условия для накопления радионуклидов и других загрязняющих веществ во всех компонентах экосистемы резервуаров. Вследствие этого концентрация цезия-137 в речной воде по пути от верхней части Днестровского каскада до устья Днестра снижается в два раза. За весь послеаварийный период в экосистеме водохранилищ и Днестровско-Бугского лимана более 99% цезия-137, поступившего в Припять и верховья Днестра, попало в донные отложения. См. Рис. 3.

Ввиду более высокой подвижности стронция-90 степень его осаждения (50–70%) в пределах днестровских водохранилищ значительно ниже, чем у цезия-137. Одной из основных причин неизменного поведения стронция-90 в водной толще является его сильная химическая фиксация в раковинах растущих моллюсков (стронций является химическим аналогом кальция). В связи с этим максимальное содержание стронция-90 в донных отложениях наблюдалось на участках колоний моллюсков и в отложениях, содержащих остатки раковин.

Концентрация стронция-90 в воде реки Днестр снижается в 1,5–3 раза по мере удаления от Чернобыля до Каховского водохранилища (по данным, усредненным за год). Это обусловлено главным образом разбавлением вод Припяти чистыми водами верхнего Днестра и боковых притоков. «Перемешивание» содержания днестровских водохранилищ при прохождении стронция-90 вдоль каскада становится очевидным благодаря постепенному снижению пиковых концентраций и смещению пика во времени. Даже очень высокие пиковые концентрации стронция-90 в водах Припяти и Киевского водохранилища подавляются к тому времени, когда пик достигает Кременчугского водохранилища, а в Каховском водохранилище можно наблюдать только постепенные колебания концентрации стронция-90. См. Рис. 6.

⁶ <https://en.minnanods.net/>

⁷ https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-13&chapter=27&clang=_en

Большая часть взвешенных отложений, выносимых из реки в водохранилище, откладывается на дне верхних частей водохранилищ. Однако некоторые из мельчайших частиц (обычно размером менее 50 мкм) могут переноситься потоком в следующий резервуар и далее в нижние части каскада. Большой приток радионуклидов в нижние резервуары наблюдался во время штормов и в периоды паводков. До 50% притока цезия-137 в водохранилища происходит за счет мелких частиц отложений, а до 80% речных взвешенных отложений откладывается в верхних частях каскада [PNL1994].

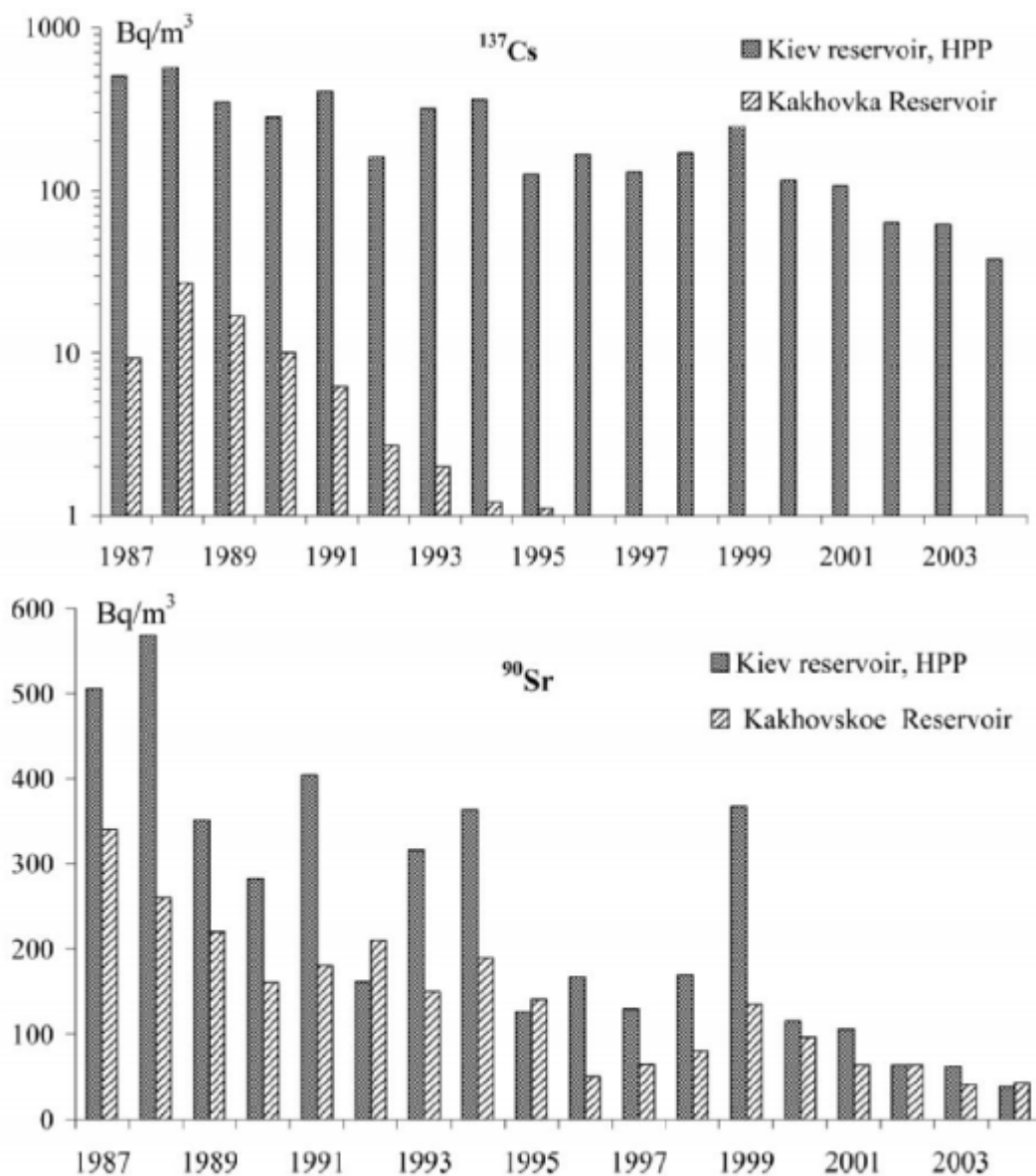


Рисунок 6: Ежегодное среднее содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в Киевском (Вышгород, возле плотины) и Каховском водохранилищах каскада Днепра. Взято из [Onishi2007].

Изотопы плутония, переносимые реками вниз к Черному морю, измерялись в отложениях ирригационных каналов Северного Крыма [Поликарпов2015]. Тем не менее, исследований о переносе плутония и америция в бассейне Днепра крайне мало, а их данных недостаточно для анализа. Все обзоры по какой-то причине игнорируют эти радиоэлементы и не упоминают их. Относительно немного данных доступно о накоплении америция-241 в водной биоте.

2.3 Влияние паводка в пойме Припяти и меры по ликвидации его последствий

В пределах водосборного бассейна реки Днепр уровень поверхностного загрязнения цезием-137 на площади около 85000 км² выше 37 кБк/м². Пойма реки Припять сильно загрязнена вследствие аварии на Чернобыльской АЭС, в частности, стронцием-90, при этом на больших площадях его концентрации превышают 4000 кБк/м². (См. карты в приложении). Эта область регулярно затопляется, особенно во время весенних паводков. Кроме того, некоторые места захоронения отходов расположены в пойме. МАГАТЭ рассматривает зону затопления Припяти в чернобыльской зоне отчуждения как трансграничный участок с высоким уровнем загрязнения с активным воздействием и усиливающимся воздействием во время сильных наводнений [IAEA2006a].

Река Припять окружена болотами и большим количеством закрытых озер, старичных озер, в которых концентрация цезия-137 (и в меньшей степени стронция-90) в воде и рыбе намного выше, чем в ближайших реках. Эти районы наиболее загрязнены после чернобыльской аварии. Эти закрытые озера и их окрестности рассматриваются МАГАТЭ как местные участки с высоким уровнем заражения. Концентрации радиоэлементов со временем значительно не уменьшаются, и во многих озерах все еще превышают допустимые уровни для питьевой воды и особенно для рыбы. В случае наводнения возможны некоторые дополнительные переносы загрязняющих веществ в бассейн реки Днепр. Во время затопления Припятской поймы уровни загрязнения несколько увеличиваются из-за вымывания стронция-90.

Пики активности стронция-90 в водохранилищах Днепровского каскада, показанные на Рис. 6, были вызваны затоплением наиболее загрязненных пойм в зоне отчуждения. Например, наводнение Припяти, вызванное ледовой запрудой в реке зимой 1991 года, привело к временному, но значительному увеличению концентрации стронция-90, но не повлияло на рост концентрации цезия-137. Концентрации стронция-90 увеличились с 1 до 8 Бк/л в течение периода в 5-10 дней зимой 1991 года. Аналогичные события произошли и во время летних дождей в июле 1993 года, зимнего наводнения 1994 года и сильного весеннего паводка в 1999 году.

Во время паводка в январе 1991 года концентрации стронция-90 достигли 9-11 Бк/л (250-300 пКи/л) на мосту Янов, расположенном внизу поймы, значительно превысив местный лимит для питьевой воды в 3,7 Бк/л (100 пКи/л). Общее количество стронция-90, переносимого Припятью, увеличилось с 18 до 370 ГБк (0,5-10 Ки, 1 ГБк = 109 Бк) в день, а общее количество стронция-90, выпущенного из поймы через Припять в Киевское водохранилище за этот период превысило 3 ТБк (90 Ки, 1 ТБк = 1012 Бк). К счастью, влияние такого выброса в Киевское водохранилище было уменьшено благодаря разбавлению воды Припяти более чистой водой Днепра и рассредоточению загрязнения в водохранилище. В результате максимальная концентрация на промежутке от устья Припяти к плотине Киевского водохранилища (расстояние более 80 км) снизилась с 7,4 до 1,1 Бк/л (от 200 до 30 пКи/л) [PNL1994].

В 1993 году вокруг сильно загрязненной поймы на левом берегу Припяти, чуть выше по течению от Чернобыльской АЭС, была построена плотина. Это предотвратило затопление территорий, лежащих ниже по течению, и МАГАТЭ считает, что такая мера оказалась эффективной в отношении снижения смыва стронция-90 в реку во время наводнений. Однако в июле-августе 1993 г. проливные дожди над бассейном Припяти в Беларуси и Украине вызвали сильные наводнения, тем самым значительно повысив концентрацию

стронция-90 в реке, вызвав обеспокоенность общественности по поводу уровня радионуклидов в реке и спровоцировав немедленную реакцию со стороны правительства Украины. Пиковая концентрация стронция-90 в Киевском водохранилище составила 0,44 Бк/л (12 пКи/л). Это значение могло быть намного выше без 10-километровой плотины [PNL1994]. Какие-либо данные о влиянии работ, связанных со строительством плотин, не приводятся.

В 1999 году значительное количество стронция-90 снова было вымыто в каскад из подверженных наводнениям сильно загрязненных мест в пойме Припяти вблизи Чернобыльской АЭС. Сведения о радиоактивном загрязнении воды в Каховском водохранилище поступали в течение всего 1999 года. Из-за высокой скорости речного стока в марте-июне 1999 года наблюдалось быстрое движение загрязненной воды вниз по Днепру, и к середине июля 1999 года этот фронт достиг Черного моря. Максимальное значение активности ^{90}Sr , измеренное в течение этого периода в Днепре на Новой Каховке, составило 0,3 Бк/л, что в три-четыре раза выше уровня загрязнения, наблюдавшегося в предыдущие годы. Это наблюдение дополнительно демонстрирует то, что подверженные наводнениям территории в пойме реки Припять и другие источники загрязнения в зоне Чернобыльской АЭС остаются основным источником радиоактивного загрязнения днепровских вод.

Вторая плотина была построена на правом берегу Припяти в 1999 году. Однако уровень среднегодовой концентрации стронция-90 в воде Киевского водохранилища был ниже 1 Бк/л во все годы, начиная с 1987 года.

Стоит отметить, что, по мнению МАГАТЭ, многочисленные меры по снижению воздействия радиоактивных элементов, введенные в ближайшие месяцы и годы после аварии для защиты водных систем от переноса радионуклидов из загрязненных почв, были, как правило, неэффективными и дорогостоящими и приводили к относительно высоким облучениям рабочих, реализовывавших данные мероприятия [IAEA2006b].

2.4 Участки с высоким уровнем радиоактивного заражения

Группа экспертов МАГАТЭ выбрала список опасных участков с высокими уровнями радиоактивного заражения, требующих особого внимания [IAEA2006a]. Среди них могут оказаться следующие объекты, затронутые строительными работами, связанными с водным путем E40: пойма реки Припять в зоне отчуждения, Чернобыльский пруд-охладитель, зона отчуждения в целом (как в Беларуси, так и на Украине), сильно загрязненные районы за пределами зоны отчуждения, особенно закрытые озера и пруды в Беларуси, Российской Федерации и Украине, а также загрязненные отложения в Киевском водохранилище.

По данным МАГАТЭ, самым опасным местом в зоне воздействия Чернобыля вдоль реки Припять является сильно загрязненная пойма вверх по течению от Чернобыльской атомной электростанции (на расстоянии 10 км вверх по течению от моста Янов) возле города Припять. Пойма может затопляться паводком с вероятностью 25% (в среднем один раз в четыре года).

Чернобыльский пруд-охладитель представляет угрозу для реки Припять в случае прорыва плотины, что приведет к выбросу большого количества загрязненной воды и отложений. Общий запас радионуклидов в пруду превышает 200 ТБк [IAEA2006b]. По данным МАГАТЭ [IAEA2006a], результаты, полученные при моделировании прорыва плотины, можно сравнить с результатами последнего крупного наводнения в 1999 году. Этот пруд

должен быть выведен из эксплуатации, а сильно загрязненные отложения удалены. Вывод из эксплуатации был начат в 2013 году.

Анализ МАГАТЭ показывает, что донные отложения в Киевском водохранилище не рассматриваются в качестве участков с высоким уровнем заражения, поскольку загрязнение в основном удерживается в донных отложениях, которые недоступны для значительного поглощения биотой в нормальных условиях или в условиях паводка. Дноуглубительные работы в этом анализе не рассматривались. Карта распространения цезия-137 в донных отложениях Киевского водохранилища приведена на Рис. 5. В зависимости от места дноуглубительных работ осадки можно классифицировать как потенциальный источник заражения высокого уровня.

2.5 Выводы и рекомендации МАГАТЭ

МАГАТЭ отмечает, что зараженные донные отложения в водохранилищах реки Днепр не оказывают существенного влияния на вторичное радиоактивное загрязнение воды и водных организмов. Почти весь вымытый из загрязненных районов цезий-137 иммобилизован в донных отложениях в водоемах Днепра. Воздействие этих отложений незначительно и в дальнейшем будет снижаться с разрушением и дальнейшим отложением осадков поверх загрязненных отложений. Таким образом, МАГАТЭ считает, что общим правилом эксплуатации водохранилищ (в основном, Киевского) является минимизация работ, связанных с черпанием воды, и механических операций в местах с повышенным загрязнением дна. Общая стратегия должна состоять в том, чтобы оставить эти отложения в нетронутом состоянии и избегать процессов, которые приведут к их ресуспендированию [IAEA2006a].

Озера без регулярных притоков и оттоков все еще представляют радиологическую проблему, которая будет продолжаться в течение нескольких десятилетий. Возникла необходимость более глубокого понимания процессов, происходящих в этих озерах, особенно понимание того, каким образом загрязняющие вещества попадают в рыбу. Также необходимо детальнее изучить запасы стронция-90 в отложениях и процессы его закрепления в почве. Стронций-90 становится более опасным со временем из-за его большей мобильности.

Вот некоторые из рекомендаций МАГАТЭ, приведенных в 2006 году [IAEA2006a]:

- Необходимо построить «отвлекающий» канал вдоль белорусско-украинской границы между поселениями Красное и Зимовище, чтобы предотвратить затопление сильно загрязненных территорий на левом берегу реки Припять.
- Сильно загрязненный пруд-охладитель Чернобыльской АЭС должен быть благополучно выведен из эксплуатации.
- Следует принять технические меры для предотвращения значительного рассеивания радионуклидов в местах временного хранения радиоактивных отходов в пойме реки Припять.

С тех прошло уже более 10 лет и, насколько нам известно, ни одна из этих рекомендаций не была выполнена. Выведение пруда-охладителя из эксплуатации началось в 2013 году, точная дата завершения при этом не установлена [SSEChNPP2019].

3. Создание и техническое обслуживание водного пути E40

3.1 Описание

Вся длина Днепровского каскада относится к водному классу V, и на украинском участке водного пути E40 не обнаружено каких-либо «узких» мест. Основные проблемы заключаются в очень плохом техническом состоянии шлюзов, разметки маршрутов и наличии мелководных зон. Их преодоление потребует технических мер, таких как выемка грунта и уменьшение осадок судов. В технико-экономическом обосновании [MIG2015] упоминается, что на Киевском водохранилище необходимо будет ежегодно проводить дноуглубительные работы общим объемом около 68000 м³.

Река Припять течет медленно, меандрируя через широкие поймы, часто разделяясь и соединяясь с рукавами на протяжении более 250 км. Большая однородная пойма реки состоит из старичных озер, болот, кустарниковых зарослей и пойменных лугов. Река замерзает в середине декабря и вскрывается ото льда в конце марта. Цель проекта – создать условия для обеспечения постоянных параметров фарватера в течение всего сезона навигации полностью загруженных судов.

От устья реки Припять (в затопленном русле Днепра от Киевского водохранилища) до украинско-белорусской границы протяженность водного пути вдоль Припяти составляет 64,5 километра. Практически весь участок является искусственным; он претерпел ряд изменений в связи со строительством Киевского водохранилища, строительством пруда-охладителя для Чернобыльской АЭС, а также строительством защитных сооружений вдоль реки после аварии на Чернобыльской АЭС и в связи с эксплуатацией водного пути. Характерной особенностью устьевое участка Припяти является постоянный сток суспензий и движение отложений, что приводит к образованию полуостровов и островов вдоль реки, за которыми следуют фарватеры с наносом песка. Этот процесс особенно интенсивен во время весенних паводков. В технико-экономическом обосновании [MIG2015] упоминаются требования по углублению реки Припять на 13 отменях, а годовой объем дноуглубительных работ в украинской части реки составляет 580000 м³.

Вверх по течению, на территории Беларуси, река в основном течет свободно. Она извивается и часто распадается на старичные озера и вновь соединяющиеся рукава. Работы, необходимые для поддержания судоходства, включают ежегодные выемки грунта, укрепление берегов рек и очистку русла реки. Для улучшения условий судоходства потребуются дополнительные дноуглубительные работы, укрепление берегов рек, очистка русла, а также выравнивание и выпрямление некоторых участков реки. Также потребуются построить дополнительные плотины и шлюзы.

В технико-экономическом обосновании [MIG2015] упоминается нулевая блокировка между украинской границей и Микашевичами (Мікашэвічы) в Беларуси. Однако в своем выступлении секретарь Комиссии по разработке водного пути E40 на участке Днепр-Висла упоминает, что для обеспечения контроля над Припятью потребуется 6 или 7 плотин: см. Рисунок 7. В частности, одна плотина должна быть построена возле Наровли (Нароўля) у входа в Полесский государственный радиэкологический заповедник (Палескі дзяржаўны радыяцыйна-экалагічны запаведнік) и еще одна, чуть выше по течению от города Припять, в зоне отчуждения [E40Com2015].

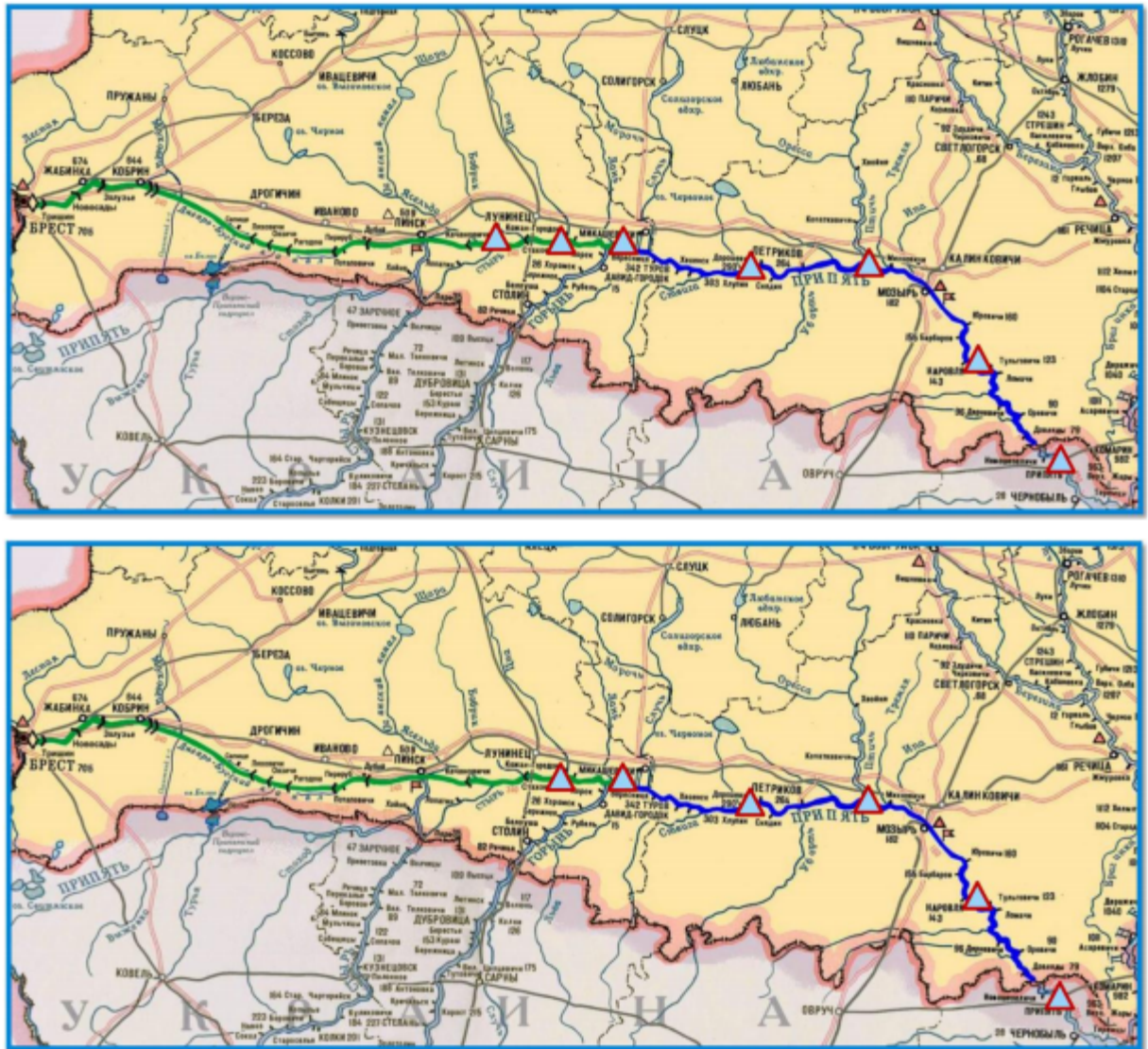


Рисунок 7: Расположение плотин (отмечено треугольниками) согласно [E40Com2015]: вариант 1 и 2. Взято из [E40Com2015].

Строительство плотины, а также проведение работ, необходимых для расширения и выравнивания реки, подразумевает необходимость дноуглубительных работ на большом количестве загрязненных почв и строительство других объектов, например, дорог. После того, как инфраструктура будет построена, для поддержания судоходства все еще необходимы работы по техническому обслуживанию. Общий объем дноуглубительных работ на канале Днепр-Буг и реке Припять (длина маршрута – 315,1 км), необходимый для обеспечения гарантированной глубины 2,6 м, составит приблизительно 6,3 млн. м³. Участок Припяти, проходящий через зону отчуждения, имеет протяженность около 50 км.

В технико-экономическом обосновании поясняется, что строительство погрузочно-разгрузочного порта планируется в районе Нижних Жаров (Ніжня Жары) в Беларуси, вдоль реки Днепр. Порт может принимать суда с максимальной осадкой до 3,0 м, а более мелкие фидерные суда будут перевозить груз для дальнейшей перегрузки. Участок находится между Полесским государственным радиоэкологическим заповедником и Мижричинским региональным ландшафтным парком в Украине (Міжрічинський регіональний ландшафтний парк). Участок водного пути в верховьях Днепра от устья Припяти до

планируемого порта расположен в зоне накопления воды Киевского водохранилища. Другой, более детальной информации о порте не приводится.

С чисто радиологической точки зрения, наиболее сложный участок находится вблизи Чернобыльской АЭС и проходит через зону отчуждения, поскольку она является наиболее загрязненным участком на территории реализации проекта E40. Согласно технико-экономическому обоснованию [MIG2015], строительство международного водного пути E40 вблизи Чернобыльской АЭС требует полного вывода из эксплуатации пруда-охладителя, на что могут потребоваться годы. Более того, в исследовании содержится предупреждение о том, что *«если не проводить компенсационные работы, невозможно создать глубоководную транспортную артерию»*, но при этом ничего конкретного о *«компенсационной работе»* не говорится.

Прежде чем четко обозначить потенциальное радиологическое воздействие таких работ, стоит подчеркнуть, что строительство плотины в зоне отчуждения вызовет постоянное затопление сильно загрязненных земель, болот, озер и нейтрализует предпринятые усилия по восстановлению и уменьшению воздействия наводнения. Проведение работ, необходимых для расширения и выравнивания реки, приведет к удалению загрязненных почв, что, в свою очередь, приведет к загрязнению рек. И последнее, но не менее важное: ежегодные дноуглубительные работы противоречат рекомендации МАГАТЭ не трогать донные отложения.

3.2 Дноуглубительные работы

Поскольку на дне рек и каналов накапливаются отложения, необходимы регулярные дноуглубительные работы для поддержания судоходности водных путей. Техно-экономическое обоснование [MIG2015] дает оценку ежегодных дноуглубительных работ после строительства водного пути E40:

- На Киевском водохранилище обозначены четыре наиболее обмелевших участка водного пути. Годовой объем дноуглубительных работ составляет 68000 м³.
- Участок водного пути в верховьях Днестра от устья Припяти до села Нижние Жары расположен в районе водосбора Киевского водохранилища. В шести наиболее обмелевших местах необходимо проводить 41 ежегодную выемку грунта. Общий объем дноуглубительных работ составит примерно 480000 м³/год.
- Украинская часть реки Припять должна быть углублена на 13 отмелях. Годовой объем дноуглубительных работ 580000 м³.
- Для белорусской части водного пути E40, проходящей через наиболее загрязненные участки Припяти, , годовой объем дноуглубительных работ вверх по течению от Микашевичей (Мікашэвічы) оценивается примерно в 200000 м³. Информация о наиболее загрязненной части Припяти не приводится.

Как правило, мелкозернистые донные отложения накапливают загрязняющие вещества из-за их сорбционной природы. Учитывая, что глубокие слои отложений обычно более загрязнены, чем поверхностные, дноуглубительные работы приводят к повышению концентраций загрязняющих веществ по сравнению с таковыми до проведения дноуглубительных работ.

Ресуспендирование бескислородных отложений приводит к изменениям взаимодействия водных частиц и десорбции загрязняющих веществ. Следовательно, ремобилизация загрязняющих веществ, связанных с отложениями, может происходить во время природных явлений, таких как штормы, или вследствие человеческой деятельности, в частности,

дноуглубительных работ. Дноуглубительные работы приводят к смещению бескислородных отложений с биологически активным поверхностным слоем отложений. Кроме того, было показано, что ресуспендирование отложений ускоряет десорбцию, распределение и бактериальное разложение. Разумеется, биодоступность, связанная с дноуглубительными работами, в основном зависит от конкретного участка и от степени загрязнения, количества взвешенных отложений, продолжительности воздействия и особенностей организма [Eggleton2004].

Сообщалось, что показатели ресуспендирования варьируются от менее 0,1% до более 5%, так как это сильно зависит от специфики дноуглубительной работы. Отложение, ресуспендированное в результате дноуглубительных работ, становится транспортабельным под воздействием внешних и индуцированных потоков. Моделирование должно включать зону начального смешивания, в которой индуцированные потоки более важны, чем внешние потоки, зону ближнего поля со шлейфом образования отложений и зону дальнего поля [ERDC2008].

Смоделировать воздействия дноуглубительных работ чрезвычайно сложно, так как оно зависит от многих параметров, индивидуальных на каждом участке. Исследования последствий ресуспендирования отложений во время проведения дноуглубительных работ, фокусировались в первую очередь на биодоступности загрязняющих веществ. Небольшая работа была проведена в отношении процессов, влияющих на выброс загрязняющих веществ. На основании полученных данных становится очевидным, что наше понимание процессов и факторов, контролирующих выброс и биодоступность загрязняющих веществ при разрушении отложений, значительно разнятся. [Eggleton2004]. Для оценки загрязнения к рыбным ресурсам необходимы специальные исследования.

Информация об утилизации отложений, извлеченных на оси водного пути E40, отсутствует. Частные источники информации упоминают, что в Украине донные отложения складировать вблизи р. Днестр без какой-либо особой защиты.

Как временные, так и пространственные характеристики всего проекта должны учитываться при оценке краткосрочного выброса, а также его долгосрочные последствия и общий риск.

3.3 Основное радиологическое воздействие

Основное радиологическое воздействие при длительных строительных работах сконцентрируется в зоне отчуждения. Ожидается, что наибольшую долю облучения получат работники. Часть загрязнения будет переноситься по реке Припять вниз к Днестру, увеличивая радиологическое воздействие через различные водные пути. Как уже упоминалось, цезий-137 будет фиксироваться в верхних отложениях Киевского водохранилища, а стронций-90 будет воздействовать на весь Днепропетровский каскад. Новые слои осадков, загрязненных цезием-137, будут ресуспендироваться ежегодно во время дноуглубительных работ.

Строительство плотины выше по течению вдоль зоны отчуждения вместе с работами, необходимыми для расширения и выравнивания русла реки Припять, также окажут радиологическое воздействие, но на значительно меньшем уровне, чем в зоне отчуждения. Однако сельское хозяйство и рыбоводство могут быть затронуты в значительной степени [FZS2019].

Какого-либо негативного воздействия на Польшу и другие европейские страны не ожидается.

4. Возможные сценарии воздействия (облучения) и дозы

4.1 Принципы защиты от радиации

4.1.1 Принципы Международной комиссии по радиологической защите

Последние рекомендации по системе радиологической защиты были опубликованы в 2007 году Международной комиссией по радиологической защите (ICRP) [ICRP2007]. Кратко обозначим ключевые моменты.

Радиационное облучение (или облучение) – это процесс воздействия как радиации, так и радионуклидов. Радиационные воздействия вредны: высокие дозы будут вызывать детерминированные эффекты, часто острого характера, которые проявляются, только если доза превышает пороговое значение. Как высокие, так и низкие дозы могут вызывать стохастические эффекты (рак или наследственные эффекты), которые можно зафиксировать как статистически обнаруживаемое увеличение числа случаев проявления этих эффектов, происходящих спустя долгое время после облучения.

Рассмотренные в документе уровни радиологического воздействия, как правило, приводят к низким дозам, для которых, предположительно, увеличение частоты проявления стохастических эффектов пропорционально увеличению дозы воздействия по сравнению с фоновым значением. Это так называемая линейная непороговая (LNT) модель, которая, по мнению Комиссии, является наиболее оптимальным практическим подходом к управлению риском от радиационного воздействия.

Основной практический вывод модели LNT заключается в том, что возникает необходимость установить некоторый условный конечный риск, пусть и небольшой, и обозначить уровень защиты на приемлемом уровне. В рамках этого формулируются три основных принципа защиты, разработанные Комиссией:

- Принцип обоснования: любое решение, предполагающее изменение ситуации с радиационным воздействием, должно приносить больше пользы, чем вреда.
- Принцип оптимизации защиты: вероятность подвергнуться воздействию, количество людей, подвергшихся воздействию, и величина их индивидуальных доз должны быть минимально возможными, принимая во внимание экономические и социальные факторы.
- Принцип применения предельных доз: общая доза для любого человека из контролируемых источников в ситуациях планового воздействия, отличных от облучения пациентов в медицинских целях, не должна превышать соответствующих пределов, установленных Комиссией.

Кроме того, Комиссия признает три типа воздействия, охватывающие весь диапазон возможных ситуаций:

- Плановое воздействие – ситуации, связанные с запланированным введением в эксплуатацию и эксплуатацией источников.

- Аварийное воздействие – непредвиденные обстоятельства, которые могут возникнуть во время выполнения запланированной ситуации или в результате злонамеренного действия, требующие неотложной реакции.
- Ситуации воздействия, уже существующие в момент, когда необходимо принять решение о механизме регулирования, например, в результате каких-либо прошлых событий и аварий.

Очевидно, что ситуации аварийного воздействия в данном случае не актуальны. Воздействие на работников, отправляемых в зону отчуждения для деятельности, связанной с водным путем E40, следует рассматривать как плановое воздействие. Однако местные жители в неэвакуированных зонах, пострадавших от радиоактивного загрязнения, сталкиваются с существующими ситуациями воздействия. В подобных случаях стратегии защиты часто будут реализовываться постепенно в течение многих лет с целью уменьшения воздействия.

Принципы обоснования и оптимизации применяются во всех трех ситуациях воздействия, тогда как принцип применения пределов дозы применяется только для доз, ожидаемых с определенной вероятностью в результате ситуаций планового воздействия.

Обоснование подразумевает определение того, является ли планируемая деятельность, связанная с радиацией, в целом полезной для отдельных лиц и общества и компенсирует ли получаемый вред. В случае существующей ситуации воздействия введение или продолжение реализации корректирующего действия должно перевешивать его стоимость и любой вред или ущерб, который оно причиняет. Такая позиция может вступать в противоречие с правом человека на здоровье, закрепленным во Всеобщей декларации прав человека: *«Каждый человек имеет право на уровень жизни, достаточный для здоровья и благополучия его самого и его семьи»* [ACRO2019]. Она также подверглась критике со стороны Специального докладчика Совета по правам человека ООН Ананда Гровера, который отметил в своем докладе о Фукусиме следующее: *«Рекомендации МКРЗ основаны на принципах оптимизации и обоснования, согласно которым все действия правительства должны основываться на максимальном извлечении пользы и сокращении вреда. Такой анализ рисков и выгод не согласуется с основами права на здоровье, поскольку он отдает предпочтение коллективным интересам над индивидуальными правами. Согласно праву на здоровье, право каждого человека должно быть должным образом защищено. Более того, такие решения, которые оказывают долгосрочное влияние на физическое и психическое здоровье людей, должны приниматься при их активном, непосредственном и эффективном участии»* [HRC2013].

Таким образом, исследование радиологического воздействия проекта водного пути E40, которое еще предстоит разработать его инициаторам, должно включать обоснование его использования по сравнению с другими видами транспорта, такими как, например, железная дорога. Им также необходимо пояснить, каким образом применяется принцип оптимизации, и предоставить индивидуальную оценку дозы наиболее подверженных радиологическому воздействию людей для гарантирования того, что каждый человек защищен.

Публикация МКРЗ № 111 содержит руководство по применению рекомендаций Комиссии по защите людей, живущих на загрязненных территориях в долгосрочной перспективе после ядерной аварии [ICRP2009]. Несмотря на то, что она явно не рассматривает ситуацию работы в рамках большого проекта, который существенно влияет на радиологическое загрязнение, основополагающие рекомендации МКРЗ по-прежнему применяются. В частности, следует продолжать прилагать усилия для достижения уровней воздействия,

максимально приближенных к обычным. МКРЗ не рассматривает вопрос о каком-либо увеличении воздействия после аварии. Кроме того, Комиссия подчеркивает, что власти должны привлекать заинтересованные стороны.

В частности, в случае существующего воздействия Комиссия рекомендует заинтересованным лицам получить общую информацию о ситуации воздействия и способах снижения доз. При этом подразумевается, что воздействие зачастую определяется индивидуальным образом жизни того или иного человека. Это предполагает, что пострадавшие люди полностью осведомлены о ситуации и хорошо проинформированы. Власти обязаны сообщить о любом изменении в уровне воздействия.

Точно так же радиологическое качество пищевых продуктов может регулироваться многими защитными действиями, направленными на снижение переноса радионуклидов в пищевой цепи “от фермы к вилке”.

4.1.2 Участие заинтересованных сторон и участие общественности

Орхусская конвенция о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды, требует, чтобы *«каждая Сторона обеспечивает участие общественности уже на самом раннем этапе, когда открыты все возможности для рассмотрения различных вариантов и когда может быть обеспечено эффективное участие общественности»*. Кроме того, *«каждая Сторона обеспечивает, чтобы в решении должным образом учитывались результаты участия общественности»*. Такое участие должно быть трансграничным, как того требует конвенция Эспо.

Что касается конкретного случая так называемой ситуации существующего воздействия, которая возникает после ядерной катастрофы, МКРЗ только что представила на общественное обсуждение обновленную версию своих публикаций 109 и 111 [ICRP2019], в которых подчеркивается решающее значение привлечения заинтересованных сторон к осуществлению процесса оптимизации. Для защиты населения и окружающей среды во время процесса восстановления Комиссия рекомендует подход «совместной экспертизы», в рамках которого органы власти, эксперты и заинтересованные стороны работают сообща для обмена опытом и информацией в пораженных сообществах с целью разработки практической культуры радиологической защиты, позволяющей людям принимать обоснованные решения в отношении своей жизни. В процессе выбора защитных мер Комиссия рекомендует учитывать мнения и проблемы заинтересованных сторон.

В процессе восстановления для развития и сохранения устойчивости экономической деятельности требуется, чтобы радиологический мониторинг сотрудников, рабочей среды и продуктов поддерживался и адаптировался в соответствии с ожиданиями различных заинтересованных сторон. Такой мониторинг должен способствовать сохранению бдительности в долгосрочной перспективе, позволяя подтверждать качество условий труда и производства, а также реализовывать защитные меры в случае необходимости.

Эти рекомендации обязательны для государств, обязанных применять их в контексте реализации проекта водного пути E40, который проходит через загрязненные территории.

4.1.3 Максимально допустимые дозы и контрольные уровни

Эффективная доза предназначена для использования в качестве защитной величины. Эквивалентные дозы для контрольного человека используются для расчета эффективной дозы путем умножения этих доз на соответствующие тканевые весовые множители.

Контрольный уровень для оптимизации защиты людей, живущих на загрязненных территориях, следует выбирать в нижней части полосы 1–20 мЗв/год, рекомендованной в публикации 103 МКРЗ [ICRP2007]. Где применяются такие рекомендации? МКРЗ не дает четких указаний. Тем не менее, в документе утверждается, что на основе прошлого опыта, типичное значение, используемое для ограничения процесса оптимизации в долгосрочных ситуациях после аварии, составляет 1 мЗв/год.

Вместе с тем МКРЗ добавляет, что тот факт, что уровни воздействия были снижены ниже контрольного значения, не является достаточным условием для прекращения реализации защитных мер, если есть возможность для дальнейшего снижения воздействия в соответствии с процессом оптимизации. Продолжение реализации таких действий, вероятно, будет основным механизмом поддержания воздействия, близкого или сходного с воздействием на обычном уровне, как это рекомендовано Комиссией [ICRP2009]. Поэтому в этом исследовании мы установим контрольный уровень в 1 мЗв/год, имея в виду, что в первую очередь необходимо рассмотреть обоснование и оптимизацию.

Международные рекомендации ограничивают эффективную дозу для работников, подвергающихся плановому воздействию, до 100 мЗв в любой период в течение пяти календарных лет подряд с максимальной эквивалентной дозой 50 мЗв в течение любого календарного года. Европейский Союз⁸ строго ограничил воздействие на работников до 20 мЗв/год, за исключением особых обстоятельств. В этом исследовании мы придерживаемся европейских значений.

4.2 Оценка текущей дозы загрязнения водосборного бассейна Днепра

Пути воздействия на человека включают внешнее облучение от осажденных гамма-излучающих радионуклидов и внутреннее облучение при попадании внутрь загрязненной пищи и питьевой воды, а также вдыхание переносимых по воздуху радионуклидов. В настоящем документе мы сосредоточимся на пути попадания загрязняющих веществ внутрь организма, возникающего в результате потребления питьевой воды, рыбы и сельскохозяйственных продуктов, выращиваемых с использованием поливной воды из загрязненных водоемов. Использование водоемов в качестве источника питьевой воды для скота и затопление сельскохозяйственных земель также может привести к воздействию на человека в рамках распространения загрязнений по земле. Все эти пути должны быть приняты во внимание для оценки дозы из-за загрязнения водосборного бассейна реки Днепр.

Оценка индивидуальных доз по известным концентрациям в окружающей среде относительно проста. Доза является продуктом концентрации, потребления и дозового коэффициента. Оценка дозы более сложна, когда концентрация в окружающей среде неизвестна и должна быть оценена. Как правило, это относится к тематическим исследованиям по оценке дозы/риска для Чернобыля. В целом, большинство оценок дозы

⁸ ДИРЕКТИВА СОВЕТА 2013/59/ЕВРАТОМ от 5 декабря 2013 года, <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32013L0059>

облучения были рассчитаны с помощью компьютерных кодов на основе рекомендаций и параметров, установленных на международном уровне.

В исследовании 1994 года [PNL1994] было отмечено, что ни одно из предыдущих исследований не анализировало интегральную дозу и риск для здоровья населения из-за общего водопотребления из системы Днепроовского каскада. Основные различия между предыдущими исследованиями отражают большую неопределенность, связанную с загрязнением различных видов рыб. Исследование 1994 года [PNL1994] не анализирует все эти проблемы. Тем не менее, оно дало оценку некоторым методологическим проблемам и источникам неопределенности для смягчения последствий этой проблемы для будущих чернобыльских исследований.

МАГАТЭ [IAEA2006b] сообщает, что расчетные дозы цезия-137 и стронция-90 в системе водохранилища Днепра были сделаны на основе данных мониторинга и прогнозов частоты наводнений. Был принят наихудший сценарий серии сильных паводков в течение первого десятилетия после аварии (1986–1995 гг.). По оценкам, отдельные дозы заражения через водные пути не превысили бы 1–5 мкЗв/год. Однако, как мы увидим ниже, такое утверждение противоречит результатам оценки дозы за 1999 год, которая показывает более высокие значения.

Самая важная водная система (бассейн реки Днепр) занимает большую территорию с населением около 32 миллионов человек, использующим воду для питья, рыбалки и орошения. Таким образом, были сделаны оценки коллективной дозы для людей, использующих воду в этих целях, в течение 70 лет после аварии (то есть с 1986 по 2056 год).

Оценки коллективной дозы рассчитывают дозу контрольного человека и умножают ее на количество облученных людей. Такая оценка основана на моделировании, которое не требует большой точности, так как любые вариации «сглаживаются» путем усреднения по времени и населению. Индивидуальный расчет дозы требует более точных оценок, чтобы оценить диапазон возможных значений в соответствии с использованными допущениями. Таким образом, научная литература и обзоры в основном дают коллективные дозы. Это также предотвращает публикацию доз, полученных группами наибольшего риска.

По данным МАГАТЭ [IAEA2006b], оценки доз для системы реки Днепр показывают, что, если бы мер по сокращению потоков радионуклидов в реку не было предпринято, ожидаемая парциальная коллективная доза для населения Украины могла бы достигнуть 3000 человек-Зв за период в 70 лет после аварии. Влияние ^{137}Cs на общий уровень облучения в основном ограничен северными регионами Украины. Но из-за относительно равномерного распределения ^{90}Sr в Днепроовском каскаде водохранилищ вклад ^{90}Sr в ожидаемую коллективную дозу населения является относительно равномерным. Защитные меры, проведенные в 1992–1993 гг. на левобережной пойме реки Припять, сократили охват воздействия примерно на 700 чел. Другие защитные меры на правом берегу в чернобыльской зоне отчуждения (в течение 1999–2001 гг.) еще больше снизили коллективные дозы на 200–300 чел. Таким образом, коллективная доза за 70 лет, оцененная МАГАТЭ, составляет около 2000 чел. Обратите внимание, что какие-либо указания на влияние самих строительных работ не указаны.

Три способа использования зараженной воды вносят вклад в общую дозу: питьевая вода, потребление рыбы и орошение. Согласно МАГАТЭ [IAEA2006a], процентная разбивка по способам водопользования для населения Киевской области дает равную долю этих трех способов. Для населения Крыма влияние потребления рыбы незначительно по сравнению с

двумя другими способами. В Полтавской области потребления рыбы доминирует в коллективной дозе, связанной со способами водопользования. В 2006 году годовая коллективная доза составила около 8 чел.-Зв для Киевской области, 4 чел.-Зв для Полтавской области и 5 чел.-Зв для Крымской области.

Такие результаты показывают важность того, что любые строительные работы на загрязненных территориях могут иметь последствия для коллективной дозы жителей Днепропетровского водосбора. Работы, упомянутые в исследовании МАГАТЭ, были предназначены для уменьшения доз. Строительные работы, связанные с проектом E40, увеличат эти дозы. Таким образом, необходима оценка дозы, относящаяся к работам, которые, как ожидается, будут выполнены в рамках создания водного пути E40.

4.3 Оценка дозы воздействия (облучения), связанного с работой на водном пути E40

4.3.1 Рабочие в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС

Тяжелые работы, связанные со строительством водного пути E40 в наиболее загрязненной части Чернобыльской зоны отчуждения, такие как строительство плотины, потребуют привлечения большого количества рабочих, которые будут подвергаться высокому уровню облучения из-за загрязнения почвы несколькими радиоэлементами. Среди способов воздействия преобладают внешние воздействия и вдыхание радиоактивной пыли.

Внешнее воздействие в значительной степени зависит от загрязнения почвы цезием-137, поскольку он является гамма-излучателем. Америций-241, который также является гамма-излучателем, имеет более низкие уровни загрязнения почвы и меньший коэффициент дозы из-за своей низкой активности. Оценки радиационной защиты работников обычно основаны на рабочей нагрузке в 2000 часов в год. Поверхностные загрязнения грунта, наблюдаемые в зоне отчуждения Чернобыля, варьируются от 555 до 3700 кБк/м² для цезия-137. Они будут вызывать уровни воздействия в диапазоне от 2 до 15 мЗв/год. Коэффициенты пересчета были взяты из [Saito2012, ICRP2018].

Для оценки воздействия, связанного с вдыханием пыли, необходимо выбрать коэффициент ресуспендирувания так, чтобы преобразовать загрязнение поверхностного осадения в Бк/м² в концентрацию в воздухе, возникающую в результате ресуспендирувания, в Бк/м³. Коэффициенты ресуспендирувания, измеренные в зонах, загрязненных в результате чернобыльской аварии [Natano2003], не включают механические нарушения. В обзоре [Sehmel1980] упоминается, что механически вызванные факторы ресуспендирувания охватывают семь порядков от 10⁻¹⁰ до более 10⁻² м⁻¹. В этом исследовании мы использовали значение 10⁻⁶ м⁻¹, используемое во Франции в случае механических помех, таких как вспашка. Значение также соответствует фактору раннего ресуспендирувания, рекомендованному Public Health England после ядерной аварии [PHE2019].

При скорости дыхания 1,2 м³/ч и коэффициентах конверсии [ICRP2012] расчетные годовые эффективные дозы для доминирующих загрязняющих веществ приведены в таблице 1.

Таблица 1: Годовая эффективная доза, полученная работниками вследствие вдыхания радиоактивной пыли в зоне отчуждения

Радиоэлемент	Цезий-137	Стронций-90	Плутоний	Америций-241
Поверхностное загрязнение почвы	550 до 3700 кБк/м ²	200 до 750 кБк/м ²	1 до 40 кБк/м ²	1 до 100 кБк/м ²

Эффективная доза	9 до 60 мкЗв/год	14 до 54 мкЗв/год	72 до 2880 мкЗв/год	72 до 7200 мкЗв/год
------------------	------------------	-------------------	---------------------	---------------------

Из-за большой неопределенности в отношении фактора ресуспендирования, заражение посредством вдыхания может быть и выше. При более пессимистических уровнях влияния факторов ресуспендирования воздействие, вызванное вследствие дыхания работников, может доминировать. Тем не менее, его можно снизить с помощью специальных защитных масок. Это не относится к внешнему воздействию.

Наконец, внешнее воздействие на работников может достичь уровня выше 10 мЗв/год и приблизиться к европейскому пределу, установленному на уровне 20 мЗв/год. Пессимистичные сценарии, включающие внутреннее загрязнение, могут привести к значениям, близким к пределу. Такие значения велики по сравнению с уровнем воздействия среди атомщиков:

- Французские атомщики имели среднюю внешнюю дозу облучения 1,4 мЗв в 2018 году. 236 из 86 702 ядерных работников подвергались воздействию внешней дозы выше 10 мЗв в 2018 году [IRSN2019].
- На АЭС «Фукусима-дайити» в Японии работники подвергались воздействию средней дозы 1,6 мЗв/год с апреля 2016 года. Самая высокая зарегистрированная доза составляет 79,90 мЗв за 42 месяца (3,5 года) [TERCO2019].

4.3.2 Загрязнение воды в Днепре

Население, проживающее вниз по течению от Припятского водораздела, будет подвергнуто дополнительному воздействию во время строительных работ в зоне отчуждения. Как только строительство инфраструктуры будет закончено, ежегодные дноуглубительные работы повысят уровень загрязнения днепровской воды. Моделирование таких работ практически невозможно без какой-либо детализации запланированных работ и точного места дноуглубительных работ. Поэтому мы будем считать, что крупномасштабные работы в зоне отчуждения будут иметь последствия, аналогичные наводнениям 1999 года, которые вымыли радионуклиды из поймы Припяти.

В отчете МАГАТЭ [IAEA2006a] приводятся оценки коллективной дозы, полученной вследствие влияния трех способов распространения загрязнения, на 1999 год. Стронций-90 доминирует в водопроводной воде, оросительных каналах, (попадая в пищу, в том числе и рыбу), за исключением Киевского водохранилища, где цезий-137 доминирует в рамках способа загрязнения, связанного с потреблением рыбы. Загрязнение посредством водопроводной воды и рыбы можно легко проверить по данным о концентрации, имеющимся в отчетах МАГАТЭ.

С одной стороны, МАГАТЭ сообщает [IAEA2006a], что в 1999 году водопроводная вода, выпитая 8,25 млн. человек, привела к коллективной дозе в 4,5 чел.-Зв. На двух крайних точках Днепровского каскада средняя индивидуальная доза в 1999 году, выведенная из коллективных доз МАГАТЭ, составляет 1,32 мкЗв в Киеве и 0,52 мкЗв в Каховке. С другой стороны, Рисунок 6 показывает, что стронций-90 доминирует в загрязнении воды Киевского водохранилища. Учитывая среднюю концентрацию 50 Бк/м³, действующую в качестве контрольного уровня, и 400 Бк/м³ в 1999 году, киевлянин, пьющий 2 литра воды в день, включая воду, используемую для приготовления пищи, подвергался воздействию годовой дозы 1 мкЗв в обычный год и 8 мкЗв в 1999 году только для стронция-90. Дозы должны быть похожими в рамках другой крайности значений по каскаду. Был использован коэффициент пересчета [ICRP2012]. Эти простые оценки приводят к более высоким дозам,

чем дозы от МАГАТЭ. Кроме того, для населения, пьющего воду из Киевского водохранилища, следует добавить вклад цезия-137: на Рисунке 6 показана средняя концентрация 30 Бк/м³ в качестве контрольного уровня и 150 Бк/м³ в 1999 году. Эти уровни загрязнения приводят к дополнительной дозе 0,28 мкЗв для обычного года и 1,4 мкЗв в 1999 году.

Что касается потребления рыбы, МАГАТЭ [IAEA2006a] указывает общий вылов в 25000 тонн в 1999 году, приведший к коллективной дозе 0,95 чел.-Зв. По оценкам МАГАТЭ, цезий-137 в 1520 тоннах рыбы из Киевского водохранилища привел к общей дозе в 0,15 чел.-Зв. Даже предполагая, что людьми съедается только половина общего веса, это означает, что каждый килограмм мяса рыбы из Киевского водохранилища приводил к дозе 0,2 мкЗв.

Рисунок 8, воспроизведенный из [IAEA2006b], показывает усредненные концентрации активности ¹³⁷Cs в рыбе, пойманной в Киевском водохранилище за эти годы. В этом же отчете говорится, что в 2002–2003 гг. содержание ⁹⁰Sr в рыбе в водоемах Днепроовского каскада составляло всего 1–2 Бк/кг. В Днепроовском каскаде в Украине промысловым рыболовством вылавливается более 20000 т рыбы в год [IAEA2006b]. В 2017 году рыбаки поймали в Киевском водохранилище более 1200 тонн рыбы.

Концентрация цезия-137 у хищных рыб колеблется от 50 Бк/кг в 2000 году до 300 Бк/кг в 1999 году. Предполагая, что средняя концентрация цезия-137 на кг свежей рыбы составляет 100 Бк, коэффициент пересчета [ICRP2012], и при ежегодном потреблении 10 кг рыбы (200 г в неделю) мы получаем эффективную дозу 14 мкЗв/год. Потребители рыбы в больших количествах, например, рыбаки, могут съесть 40 кг рыбы в год (ежегодное потребление для рыбаков во Франции) и подвергаться воздействию внутренней дозы 56 мкЗв/год. При таком расчете каждый килограмм мяса рыбы приводит к дозе 1,6 мкЗв. Еще раз: это больше, чем аналогичный результат МАГАТЭ. Наши расчеты показывают, что способ загрязнения в рамках потребления рыбы может оказаться более губительным для части населения. Работы на пути E40 и дноуглубительные работы приведут к еще более высоким дозам.

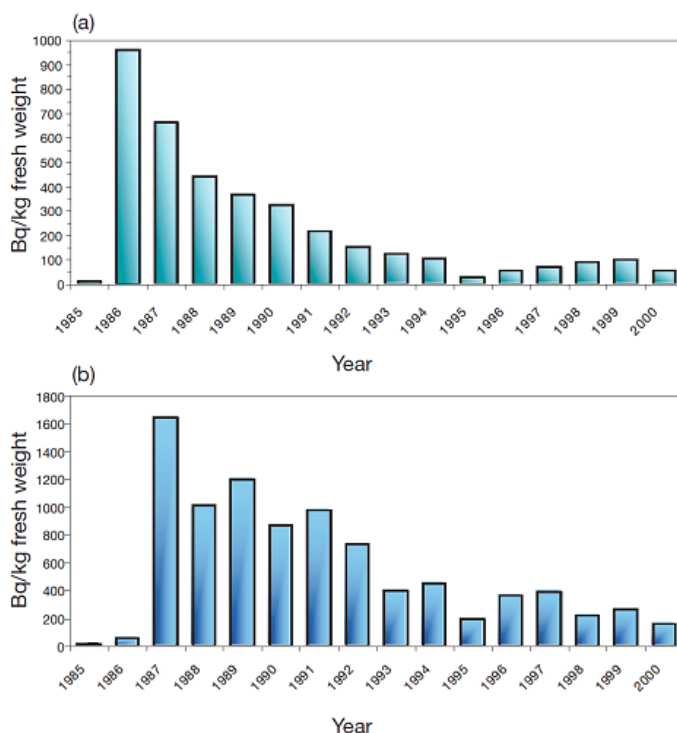


Рисунок 8: *Усредненные концентрации активности ^{137}Cs у не хищных (лещ (а)) и хищных (щука (б)) рыб; рыба из Киевского водохранилища. Рисунок взят из [IAEA2006b].*

Без конкретных данных, связанных с сельскохозяйственной практикой и потреблением, мы не можем адекватно оценить способ загрязнения, связанный с орошением. Однако оценка МАГАТЭ [IAEA2006a] показывает, что это доминирующий путь из-за большого количества людей, подвергшихся воздействию: урожай и производство молока вдоль Днепровского каскада в течение 1999 года привели к общей дозе 21,9 чел.-Зв. Поскольку около 20 миллионов украинцев питаются пищей, орошаемой загрязненной водой, такая величина соответствует средней индивидуальной дозе 1 мкЗв. В зависимости от рациона индивидуальные дозы могут быть гораздо выше. Более того, оценка МАГАТЭ учитывает только стронций и цезий в сельскохозяйственных культурах и молоке. Другие виды пищи также участвуют в распространении загрязнения. В будущем америций-241 также внесет свой вклад. Следовательно, оценка индивидуальных доз на уровне в 10 мкЗв/год ввиду орошения является достоверной. Они могут быть еще выше для фермеров.

Если отложения, полученные в результате дноуглубительных работ, применяются в качестве удобрения на полях, они также будут влиять на внутреннюю дозу. Чтобы оценить влияние такого способа загрязнения, мы предположили, что отложения находятся на одном уровне с загрязнением ввиду воды. Только с учетом листовых овощей и корнеплодов и с использованием коэффициентов переноса, рекомендованных МАГАТЭ [IAEA2010], мы получаем дозу 14 мкЗв/год для стронция-90 и цезия-137. Мы также рассмотрели рацион с 60% натурального потребления. Этот расчет переоценивает дозу, так как мы не приняли во внимание растворение наносимых отложений в почве, но он также не снижает ее, поскольку пренебрегает другими видами пищи, такими как зерновые, молочные продукты и мясо.

Наконец, три способа распространения загрязнения с помощью воды могут привести к отдельным дозам, превышающим 10 мкЗв в течение одного года на территориях, пострадавших от наводнения или крупномасштабных работ. 30 мкЗв является наиболее вероятным значением. Учитывая первоначальное воздействие в 10 мкЗв/год, совокупное 15-летнее облучение в этом случае составит около 126 мкЗв, учитывая радиоактивный распад цезия-137 и стронция-90, период полураспада которых составляет 30 лет. Таким образом, для начальной дозы 30 мкЗв/год, учитывающей три способа распространения загрязнения с помощью воды, кумулятивное 15-летнее воздействие затем достигнет почти 400 мкЗв.

4.3.3 Вверх по течению вдоль зоны отчуждения Чернобыльской АЭС

Мы выбрали зону вблизи села Лахва, расположенного выше по течению вдоль зоны отчуждения, по двум причинам: поблизости можно построить плотину, а уровень загрязнения цезием-137 здесь колеблется от 40 до 185 кБк/м². См. самую последнюю карту Брестской области в приложении.

Вода реки Припять не используется для потребления. Таким образом, единственный путь внутреннего воздействия связан с потреблением рыбы.

В Припяти активно рыбачат. Несколько частей реки контролируются государственными компаниями, которые занимаются коммерческим рыболовством и продают лицензии на рыболовство. Крупнейшая из таких компаний (Гомельский союз рыболовных компаний) вылавливает до 500 тонн рыбы в год (как в Припятском, так и в Днепровском бассейне). Улов рыбы в реках составляет 20% от всего коммерческого рыболовства. Остальная рыба

вылавливается на рыбных фермах, также принадлежащих государству. Рыба выращивается в искусственных прудах, созданных специально для этой цели. Перед продажей уровни радиоактивности в рыбе проверяются, но соответствующие данные отсутствуют.

В 2018 году рыбоводческая компания в Лахве произвела 211 тонн рыбы⁹. Однако уровень ее загрязнения не был обнародован. Значительное количество рыбы, объем которой трудно оценить, ловится непрофессиональными рыбаками (любителями), местным населением и браконьерами непосредственно в реке Припять. По данным Министерства статистики и анализа Республики Беларусь, объем рыбы, пойманной непрофессиональными рыбаками, в 2010 году оценивается в 8000 тонн [FII2014].

В реке Припять уровни загрязнения ¹³⁷Cs в рыбе остаются на уровне между 5 и 250 Бк/кг. Рыба из закрытого водоема может иметь более высокие концентрации. Максимально допустимый уровень для коммерческих продуктов питания в Беларуси составляет 370 Бк/кг. Рыба, пойманная любителями, никак не контролируется и может иметь более высокие концентрации. Ежегодное потребление 10 кг рыбы (200 г в неделю) при этом максимально допустимом уровне загрязнения приведет к эффективной дозе 50 мкЗв/год. А при ежегодном потреблении 40 кг рыбы – уровень потребления, установленный для рыбаков – эффективная доза составит 200 мкЗв/год.

Трудно оценить влияние строительных работ на загрязнение рыбы в реке Припять, однако эффективная доза воздействия, обусловленная путём потребления рыбы, должна оставаться ниже предыдущих значений, если соблюдается максимально допустимое загрязнение пищи. Эта доза добавляется в общий объем загрязнения, распространяемого с помощью других каналов, таких как внешняя доза из-за загрязнения почвы и внутренняя доза из-за другой пищи. Местные жители уже подвержены загрязнениям, вызываемыми этими каналами и способами.

⁹ <https://media-polesye.by/news/opytnyy-rybhoz-lahva-stremitsya-vyyti-na-bezubytochnuyu-rabotu-55752>

5. Выводы

Чернобыль – самая крупная промышленная авария в истории человечества. Более 30 лет спустя уровень остаточного радиоактивного загрязнения все еще настолько высок, что запрещает жить в расширенной зоне отчуждения. В настоящее время в загрязнении преобладают цезий-137, стронций-90 и различные изотопы высокотоксичного плутония. Америций-241, дочернее ядро плутония-241, также очень токсичен и оказывает все большее воздействие, которое, как ожидается, будет доминировать среди других элементов в плане радиологического воздействия в будущем. Общая стратегия состоит в том, чтобы ждать медленного радиоактивного распада, при этом восстановление чернобыльской зоны отчуждения остается невозможным в течение десятилетий. Вывод из эксплуатации Чернобыльского пруда-охладителя – наиболее радиоактивной горячей точки – является единственным исключением. В Чернобыльской зоне отчуждения также находится около 90 хранилищ радиоактивных отходов, которые еще предстоит вывести из эксплуатации.

За пределами зоны отчуждения остаточное загрязнение по-прежнему влияет на повседневную жизнь миллионов людей. Весь Припять-Днепровский водораздел был загрязнен осадками и прямыми уносами в реку. Вниз по течению от зоны отчуждения около 8 миллионов украинцев пьют воду непосредственно из Днепра, а до 20 миллионов едят продукты, орошаемые его водой. Доминирующими загрязняющими веществами являются цезий-137, который имеет тенденцию накапливаться в донных отложениях, и стронций-90, который непрерывно переносится в Черное море через Днепровский каскад. Отложения, загрязненные цезием-137, медленно покрывались менее загрязненными и чистыми отложениями на дне Киевского водохранилища, которые создавали естественный «щит». В качестве общей стратегии МАГАТЭ рекомендует оставить эти отложения как есть и избегать процессов, которые приведут к их ресуспендированию. В отношении стронция-90 сделать что-либо невозможно.

Вверх по течению от зоны отчуждения вдоль реки Припять есть зоны, загрязненные радиоактивными осадками во время аварии. Цезий-137 является доминирующим загрязняющим веществом. Общая стратегия также заключается в ожидании медленного радиоактивного распада.

МКРЗ рассматривает это как существующие ситуации, для которых рекомендуется провести процесс оптимизации, предназначенный для восстановления уровней воздействия (облучения), преобладавших до аварии. Меры защиты в основном состоят в адаптации повседневной жизни жителей загрязненных территорий, поскольку индивидуальный образ жизни является ключевым фактором воздействия. Это предполагает, что жители пострадавших территорий полностью осведомлены о ситуации и хорошо проинформированы.

Орхусская конвенция также требует, чтобы государства обеспечивали доступность экологической информации в электронных базах данных, которые были бы легко доступны для общественности. В настоящее время это никак не реализуется. Очень сложно получить доступ к данным о радиоактивном загрязнении, чтобы в должной мере оценить дозы облучения.

В таком контексте разрабатываемый внутренний водный путь E40, который должен проходить рядом с Чернобыльской АЭС и через чернобыльскую зону отчуждения, обязательно окажет радиологическое воздействие как на строителей, так и на ремонтников,

а также на население, зависящее в своей хозяйственной деятельности от Припяти и Днестра. Несмотря на то, что в рамках проекта предусмотрено проведение сложных и трудоемких работ, таких как строительство плотины и выравнивание русла реки в наиболее загрязненной части его пути, какие-либо исследования по радиологическому воздействию отсутствуют.

Принципы МКРЗ в области радиационной защиты, Орхусская и Эспоо конвенции требуют наличия экологических и радиологических исследований, обоснования проекта и участия заинтересованных сторон и широкой общественности в процессе принятия тех или иных решений.

Настоящее исследование показывает, что строительные работы для части водного пути E40, которая пересекает чернобыльскую зону отчуждения и проходит рядом с Чернобыльской атомной электростанцией, невозможны. Прогнозируемое радиологическое воздействие на работников будет неоправданно высоким. Более того, сильно загрязненный пруд-охладитель Чернобыльской АЭС и временные хранилища радиоактивных отходов в пойме реки Припять еще не выведены из эксплуатации, что не позволяет проводить рядом с ними какие-либо строительные работы. МАГАТЭ также рекомендует список других защитных мер, которые еще предстоит предпринять.

Часть водного пути E40, находящаяся выше по течению зоны отчуждения, будет бесполезной без соединения с Днестром. Кроме того, работы по строительству нескольких плотин и выравниванию меандрирующей Припяти для приема судов класса V должным образом не обоснованы.

Наконец, участок пути E40 от Черного моря до Киевского водохранилища требует регулярных дноуглубительных работ. В технико-экономическом обосновании упоминается о 68000 м³ дноуглубительных работ в год, их необходимо проводить на Киевском водохранилище, которое хранит большие запасы цезия-137 в своих донных отложениях. Такая деятельность противоречит рекомендациям МАГАТЭ о том, чтобы оставить отложения нетронутыми, поскольку это увеличит дозу воздействия для людей, которые зависят от воды из Киевского водохранилища в своих хозяйственных и пищевых нуждах.

Библиография

Издания для служебного пользования:

[ACRO2019] ACRO, МЕРЫ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ ЛЮДЕЙ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СЛУЧАЕ КРУПНОЙ ЯДЕРНОЙ АВАРИИ, ЗАМЕЧАНИЯ ACRO ПО ПРОЕКТУ ДОКЛАДА МКРЗ, 2019 [HTTPS://WWW.ACRO.EU.ORG/PROTECTION-RADIOLOGIQUE-DES-PERSONNES-ET-DE-LENVIRONNEMENT-EN-CAS-DACCIDENT-NUCLEAIRE-GRAVE-RADIOLOGICAL-PROTECTION-OF-PEOPLE-AND-THE-ENVIRONMENT-IN-THE-EVENT-OF-A-LARGE-NUCLEAR-ACCIDENT/#EN](https://www.acro.eu.org/protection-radiologique-des-personnes-et-de-lenvironnement-en-cas-daccident-nucleaire-grave-radiological-protection-of-people-and-the-environment-in-the-event-of-a-large-nuclear-accident/#en)

[E40COM2015] АНДРЕЙ РЕКЕШ, СЕКРЕТАРЬ КОМИССИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ВОДНОГО ПУТИ E40 НА УЧАСТКЕ ДНЕПРА-ВИСЛЫ. ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ВОДНОГО ПУТИ E40 [RESTORATION OF THE INTERNATIONAL WATERWAY E40]. ПРЕЗЕНТАЦИЯ НА 9Й СЕССИИ. НОЯБРЬ 2015 [HTTPS://WWW.UNECE.ORG/FILEADMIN/DAM/TRANS/DOC/2015/SC3WP3/PRESENTATION_S3_59TH_SESSION - _RESTORATION_OF_THE_INTERNATIONAL_WATERWAY_E40.PDF](https://www.unece.org/fileadmin/dam/trans/doc/2015/sc3wp3/presentation_s3_59th_session_-_restoration_of_the_international_waterway_e40.pdf)

[ERDC2008] ТОДД С. БРИДЖЕС, СТИВЕН ЭЛЛС, ДОНАЛЬД ХЕЙС, ДЭВИД МАУНТ, СТИВЕН С. НЭЙДО, МАЙКЛ Р. ПАЛЕРМО, КЛЭЙ ПЭТМОНТ, И ПОЛ ШРЕДЕР. ИНЖЕНЕРНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ – ЧЕТЫРЕ «Р» ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ: РЕСУСПЕНЗИЯ, РЕЛИЗ, ОСТАТОК И РИСК [DREDGING OPERATIONS AND ENVIRONMENTAL RESEARCH PROGRAM – THE FOUR RS OF ENVIRONMENTAL DREDGING: RESUSPENSION, RELEASE, RESIDUAL, AND RISK] ПОДГОТОВЛЕННЫЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО КОРПУСА АРМИИ США, ERDC/EL TR-08-4, 2008 [HTTPS://SEMPUB.EPA.GOV/WORK/01/287028.PDF](https://semspub.epa.gov/work/01/287028.pdf)

[FII2014] FISH INDUSTRY INSTITUTE (ИНСТИТУТ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА), BELARUS FISH INDUSTRY PROBLEMS: COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS (ВОПРОСЫ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛАРУСИ: СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ), 2014 [HTTP://AGRIS.FAO.ORG/AGRIS-SEARCH/SEARCH.DO?RECORDID=BY2017000750](http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordid=BY2017000750)

[FZS2019] МАТЕУШ ГРИГОРУК, ЕВА ЯБЛОНКА, ПАВЕЛ ОСУШ И ПАВЕЛ ТРАНДЗЮК. АНАЛИЗ ОТДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ E40 В БЕЛАРУСИ И УКРАИНЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СОСЕДНИХ РЕК И ВОДНО-БОЛОТНЫХ УГОДИЙ [ANALYSIS OF SELECTED POSSIBLE IMPACTS OF POTENTIAL E40 INLAND WATERWAY DEVELOPMENT IN BELARUS AND UKRAINE ON HYDROLOGICAL AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF NEIGHBOURING RIVERS AND WETLANDS]. ФРАНКФУРТСКОЕ ЗООЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО, МАРТ 2019 [HTTPS://BAHNA.LAND/FILES/5D0B65C02A5D4238EEDC5191.PDF](https://bahna.land/files/5D0B65C02A5D4238EEDC5191.PDF)

[HRC2013] СОВЕТ ПО ПРАВАМ ЧЕЛОВЕКА. ДОКЛАД СПЕЦИАЛЬНОГО ДОКЛАДЧИКА ПО ВОПРОСУ О ПРАВЕ КАЖДОГО ЧЕЛОВЕКА НА НАИВЫСШИЙ ДОСТИЖИМЫЙ УРОВЕНЬ ФИЗИЧЕСКОГО И ПСИХИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ, АНАНД ГРОВЕР, ВИЗИТ В ЯПОНИЮ [REPORT OF THE SPECIAL RAPPORTEUR ON THE RIGHT OF EVERYONE TO THE ENJOYMENT OF THE HIGHEST ATTAINABLE STANDARD OF PHYSICAL AND MENTAL HEALTH, ANAND GROVER, MISSION TO JAPAN] (15 – 26 НОЯБРЯ 2012 Г.), 2 МАЯ 2013 (A/HRC/23/41/ADD.3) [HTTP://WWW.OHCHR.ORG/DOCUMENTS/HRBODIES/HRCOUNCIL/REGULARSESSION/SESSION23/A-HRC-23-41-ADD3_EN.PDF](http://www.ohchr.org/documents/hrbodies/hrcouncil/regularsession/session23/a-hrc-23-41-add3_en.pdf)

[IAEA2006A] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ОЦЕНКЕ БАСЕЙНА РЕКИ ДНЕПР МЕЖДУНАРОДНОЙ ГРУППОЙ ЭКСПЕРТОВ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПЛАНА ДЕЙСТВИЙ [RADIOLOGICAL CONDITIONS IN THE DNIEPER RIVER BASIN ASSESSMENT BY AN INTERNATIONAL EXPERT TEAM AND RECOMMENDATIONS FOR AN ACTION PLAN]. 2006 [HTTPS://WWW-PUB.IAEA.ORG/MTCD/PUBLICATIONS/PDF/PUB1230_WEB.PDF](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1230_web.pdf)

[IAEA2006B] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ИХ УСТРАНЕНИЕ: ДВАДЦАТИЛЕТНИЙ ОПЫТ [ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF THE CHERNOBYL ACCIDENT AND THEIR REMEDIATION: TWENTY YEARS OF EXPERIENCE]. ДОКЛАД ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ФОРУМА «ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА», 2006 [HTTP://WWW-PUB.IAEA.ORG/MTCD/PUBLICATIONS/PDF/PUB1239_WEB.PDF](http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1239_web.pdf)

[IAEA2010] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. СПРАВОЧНИК ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В НАЗЕМНЫХ И ПРЕСНОВОДНЫХ СРЕДАХ [HANDBOOK OF PARAMETER VALUES FOR THE PREDICTION OF RADIONUCLIDE TRANSFER IN TERRESTRIAL AND FRESHWATER ENVIRONMENTS] СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКЛАДОВ №. 472, 2010 [HTTPS://WWW-PUB.IAEA.ORG/MTCD/PUBLICATIONS/PDF/TRS472_WEB.PDF](https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/trs472_web.pdf)

[ICRP2007] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ, РЕКОМЕНДАЦИИ 2007 Г. МЕЖДУНАРОДНОЙ КОМИССИИ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ, ПУБЛИКАЦИЯ 103 МКРЗ, ANN. ICRP 37 (2-4), 2007 [HTTP://WWW.ICRP.ORG/PUBLICATION.ASP?ID=ICRP%20PUBLICATION%20103](http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20PUBLICATION%20103)

[ICRP2009] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ. ПРИМЕНЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ КОМИССИИ ПО ЗАЩИТЕ ЛЮДЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РАЙОНАХ С ДЛИТЕЛЬНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПОСЛЕ ЯДЕРНОЙ АВАРИИ ИЛИ РАДИАЦИОННОЙ АВАРИИ [APPLICATION OF THE COMMISSION'S RECOMMENDATIONS TO THE PROTECTION OF PEOPLE LIVING IN LONG-TERM CONTAMINATED AREAS AFTER A NUCLEAR ACCIDENT OR A RADIATION EMERGENCY] ПУБЛИКАЦИЯ 111 МКРЗ, ANN. ICRP 39 (3), 2009 [HTTP://WWW.ICRP.ORG/PUBLICATION.ASP?ID=ICRP%20PUBLICATION%20111](http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20PUBLICATION%20111)

[ICRP2012] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ. СБОРНИК ДОЗОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПУБЛИКАЦИИ 60 МКРЗ [COMPENDIUM OF DOSE COEFFICIENTS BASED ON ICRP PUBLICATION 60], ПУБЛИКАЦИЯ 119 МКРЗ, ANN. ICRP 41 (SUPPL.), 2012 [HTTP://WWW.ICRP.ORG/PUBLICATION.ASP?ID=ICRP%20PUBLICATION%20119](http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20PUBLICATION%20119)

[ICRP2018] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ. КОЭФФИЦИЕНТЫ ДОЗЫ ДЛЯ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСТОЧНИКОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ [DOSE COEFFICIENTS FOR EXTERNAL EXPOSURES TO ENVIRONMENTAL SOURCES] ПРОЕКТ ОТЧЕТА НА ОБСУЖДЕНИЕ, 2018 [HTTP://WWW.ICRP.ORG/PAGE.ASP?ID=389](http://www.icrp.org/page.asp?id=389)

[ICRP2019] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ. РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЛЮДЕЙ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СЛУЧАЕ КРУПНОЙ ЯДЕРНОЙ АВАРИИ: ОБНОВЛЕНИЕ ПУБЛИКАЦИЙ 109 И 111 МКРЗ [RADIOLOGICAL PROTECTION OF PEOPLE AND THE ENVIRONMENT IN THE EVENT OF A LARGE NUCLEAR ACCIDENT: UPDATE OF ICRP PUBLICATIONS 109 AND 111]. ПРОЕКТ ОТЧЕТА НА ОБСУЖДЕНИЕ. ПУБЛИКАЦИЯ 1XX МКРЗ, ANN. ICRP 4X(X). [HTTP://WWW.ICRP.ORG/DOCS/TG93%20DRAFT%20REPORT%20FOR%20PUBLIC%20CONSULTATION%202019-06-17.PDF](http://www.icrp.org/docs/tg93%20DRAFT%20REPORT%20FOR%20PUBLIC%20CONSULTATION%202019-06-17.pdf)

[IRSN2019] INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE, LA RADIOPROTECTION DES TRAVAILLEURS EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS EN FRANCE : BILAN 2018, СЕНТЯБРЬ 2019 [HTTPS://WWW.IRSN.FR/FR/ACTUALITES PRESSE/COMMUNIQUE ET DOSSIERS DE PRESSE/PAGES/20190912_BILAN-2018-EXPOSITION-PROFESSIONNELLE-RAYONNEMENTS-IONISANTS-FRANCE.ASPX](https://www.irsn.fr/fr/actualites/presse/communiqués-et-dossiers-de-presse/pages/20190912_bilan-2018-exposition-professionnelle-rayonnements-ionisants-france.aspx)

[MIG2015] МОРСКОЙ ИНСТИТУТ В ГДАНЬСКЕ. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ПУТИ E40 ДНЕПР - ВИСЛА: ОТ СТРАТЕГИИ К ПЛАНИРОВАНИЮ [RESTORATION OF INLAND WATERWAY E40 DNIPIER – VISTULA: FROM STRATEGY TO PLANNING]. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ОТЧЕТ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ТЭО, ДЕКАБРЬ 2015 [HTTP://CZECH.MFA.GOV.BY/DOCS/E40RESTORATION_FEASIBILITY_STUDY_EN.PDF](http://czech.mfa.gov.by/docs/e40restoration_feasibility_study_en.pdf)

[PHE2019] ДЖ. УЭЛЛИНГС, П. БЕДВЕЛЛ, С.М. ХЭЙВУД, Т.У. ЧАРНОК. ОБЩЕСТВЕННОЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЕ АНГЛИИ, ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ОТ ВДЫХАНИЯ РЕСУСПЕНДИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ [PUBLIC HEALTH ENGLAND, ESTIMATION OF RADIATION DOSES FROM INHALATION OF RESUSPENDED MATERIALS IN EMERGENCY SITUATIONS]. АПРЕЛЬ 2019 [HTTPS://WWW.GOV.UK/GOVERNMENT/PUBLICATIONS/RADIATION-DOSES-FROM-INHALATION-OF-RESUSPENDED-MATERIALS](https://www.gov.uk/government/publications/radiation-doses-from-inhalation-of-resuspended-materials)

[PNL1994] О.В. ВОЙЦЕХОВИЧ, М.ДЖ. ЖЕЛЕЗНЯК И И. ОНИШИ. ТИХООКЕАНСКАЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС И ЭКСТРЕННАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В РЕКЕ ДНЕПР, УКРАИНА, ВО ВРЕМЯ ЛЕТНЕГО ПАВОДКА 1993 ГОДА [PACIFIC NORTHWEST LABORATORY, CHERNOBYL NUCLEAR ACCIDENT HYDROLOGIC ANALYSIS AND EMERGENCY EVALUATION OF RADIONUCLIDE DISTRIBUTIONS IN THE DNIPIER RIVER, UKRAINE, DURING THE 1993 SUMMER FLOOD] ПОДГОТОВЛЕН ДЛЯ МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ США, ИЮНЬ 1994 [HTTPS://WWW.OSTI.GOV/SERVLTS/PURL/10168428](https://www.osti.gov/servlets/purl/10168428)

[SSECHNPP2019] ГОСУДАРСТВЕННОЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АЭС (ГСП ЧАЭС), ТЕКУЩИЕ ПРОЕКТЫ СНЯТИЯ С ЭКСПЛУАТАЦИИ, ДАТА ДОСТУПА: АВГУСТ 2019 [HTTPS://CHNPP.GOV.UA/EN/ACTIVITY/CHNPP-DECOMMISSIONING/ONGOING-PROJECTS](https://chnpp.gov.ua/en/activity/chnpp-decommissioning/ongoing-projects)

[TEPCO2019] ХОЛДИНГИ ТОКИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ, ИНЖИНИРИНГОВАЯ КОМПАНИЯ «ФУКУСИМА-ДАЙИЧИ», ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ НА РАДИАЦИОННЫХ РАБОТАХ НА АЭС «ФУКУСИМА-ДАЙИЧИ» [EVALUATION OF THE EXPOSURE DOSE OF WORKERS ENGAGED IN RADIATION WORK AT THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER STATION], 31 ОКТЯБРЯ 2019 Г. [HTTPS://WWW7.TEPCO.CO.JP/WP-CONTENT/UPLOADS/HANDOUTS_191031_01-E.PDF](https://www7.tepco.co.jp/wp-content/uploads/handouts_191031_01-e.pdf)

[UNECE2012] ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ ООН, КАРТА ЕВРОПЕЙСКОЙ СЕТИ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ, 2012 [HTTPS://WWW.UNECE.ORG/FILEADMIN/DAM/TRANS/MAIN/SC3/EUROPEAN_INLAND_WATERWAYS - 2012.PDF](https://www.unece.org/fileadmin/dam/trans/main/sc3/european_inland_waterways_-_2012.pdf)

[UNECE2017] ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ ООН, ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СТАНДАРТОВ И ПАРАМЕТРОВ СЕТИ ВОДНЫХ ПУТЕЙ – «ГОЛУБАЯ КНИГА», ТРЕТЬЕ ИСПРАВЛЕННОЕ ИЗДАНИЕ, 2017 [HTTP://WWW.UNECE.ORG/FILEADMIN/DAM/TRANS/DOC/2017/SC3WP3/ECE-TRANS-SC3-144-REV.3E.PDF](http://www.unece.org/fileadmin/dam/trans/doc/2017/sc3wp3/ece-trans-sc3-144-rev.3e.pdf)

[UNSCEAR2000] НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ АТОМНОЙ РАДИАЦИИ, КАРТЫ ОСАЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ДОКЛАД 2000 ГОДА [HTTP://WWW.UNSCEAR.ORG/DOCS/JFIGV1.PDF](http://www.unscear.org/docs/jfigv1.pdf)

Научные публикации:

[BERESFORD2016] Н. А. БЕРЕСФОРД, С. ФЕЗЕНКО, А. КОНОПЛЕВ, Л. СКАТЕРУД, ДЖ.Т. СМИТ, И ДЖ. ВОЙТ. ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ АВАРИЯ – ТРИДЦАТЬ ЛЕТ СПУСТЯ: ЧЕМУ МЫ НАУЧИЛИСЬ? [THIRTY YEARS AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT: WHAT LESSONS HAVE WE LEARNT?]. ЖУРНАЛ РАДИОАКТИВНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 157 (2016) 77 [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1016/J.JENVRAD.2016.02.003](http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.003)

[EGGLETON2004] ЖАКЛИН ЭГГЛТОН И КЕВИН В. ТОМАС. ОБЗОР ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБРОС И БОДОСТУПНОСТЬ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ВО ВРЕМЯ НАРУШЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ [A REVIEW OF FACTORS AFFECTING THE RELEASE AND BIOAVAILABILITY OF CONTAMINANTS DURING SEDIMENT DISTURBANCE EVENTS]. ENVIRONMENT INTERNATIONAL 30 (2004) 973 [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENVINT.2004.03.001](https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.001)

[GOLUBEV2011] А. ГОЛУБЕВ, В. СИКОРСКИЙ, И О. СТОЛЯР. ДОЛГОСРОЧНОЕ ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОТА В ВОДНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС [IONIZING RADIATION LONG-TERM IMPACT ON BIOTA IN WATER BODIES WITH DIFFERENT LEVELS RADIOACTIVE CONTAMINATION IN BELARUSIAN SECTOR OF CHERNOBYL NUCLEAR ACCIDENT ZONE] РАДИОЗАЩИТА 46 (2011) S393 [HTTPS://DOI.ORG/10.1051/RADIOPRO/201165025](https://doi.org/10.1051/radiopro/201165025)

[HATANO2003] И. ХАТАНО И Н. ХАТАНО. ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА РЕСУСПЕНЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКА ДАТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ [FORMULA FOR THE RESUSPENSION FACTOR AND ESTIMATION OF THE DATE OF SURFACE CONTAMINATION]. ATMOSPHERIC ENVIRONMENT 37 (2003) 3475 [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/S1352-2310\(03\)00410-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00410-2)

[ONISHI2007] ЧЕРНОБЫЛЬ – ЧЕМУ ОН НАС НАУЧИЛ? – УСПЕХИ И ПРОВАЛЫ НА ПУТИ ОЧИЩЕНИЯ ВОДЫ НА ПРОТЯЖЕНИИ 20 ЛЕТ, ПОД РЕД. ЯСУО ОНИШИ, ОЛЕГ В. ВОЙЦЕХОВИЧ И МАРК ДЖ. ЖЕЛЕЗНЯК. SPRINGER 2007 [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/1-4020-5349-5](https://doi.org/10.1007/1-4020-5349-5)

[POLIKAROV2015] Г.Г. ПОЛИКАРПОВ, ДЖ.И. ЛАЗОРЕНКО, Н.Н. ТЕРЕЩЕНКО, И Н. Ю. МИРЗОЕВА. СЕВЕРО-КРЫМСКИЙ КАНАЛ КАК МОДЕЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ ДЛЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ УНОСА ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЧЕРНОЕ МОРЕ [THE NORTHERNCRIMEAN CANAL AS A MODEL OBJECT FOR RADIOECOLOGICAL STUDY OF THE CHERNOBYL RADIONUCLIDES TRANSPORT TO THE BLACK SEA]. ФИЗИЧЕСКАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ 3 (2015) 25 [HTTPS://DOI.ORG/10.22449/1573-160X-2015-3-25-34](https://doi.org/10.22449/1573-160X-2015-3-25-34)

[SAITO2012] САИТО КИМИАКИ, НОБУХИТО ИСИГУРЕ, НИНА ПЕТУССИ-ХЕНСС, И ХЕЛЬМУТ ШЛАТТЛ. КОЭФФИЦИЕНТЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ДЛЯ РАДИОНУКЛИДОВ, ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО НАРУШЕННЫХ В ПОЧВЕ [EFFECTIVE DOSE CONVERSION COEFFICIENTS FOR RADIONUCLIDES EXPONENTIALLY DISTRIBUTED IN THE GROUND] РАДИАЦИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОФИЗИКА 51 (2012) 411 [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S00411-012-0432-Y](https://doi.org/10.1007/S00411-012-0432-Y)

[SANDALLS1993] Ф.ДЖ. СЭНДАЛЛС, М.ДЖ. СИГАЛ, И Н. ВИКТОРОВА. ГОРЯЧИЕ ЧАСТИЦЫ ИЗ ЧЕРНОБЫЛЯ: ОБЗОР [HOT PARTICLES FROM CHERNOBYL: A REVIEW]. ЖУРНАЛ РАДИОАКТИВНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 18 (1993) 5 [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/0265-931X\(93\)90063-D](https://doi.org/10.1016/0265-931X(93)90063-D)

[SEHMEL1980] ДЖ. А. СЕХМЕЛ. РЕСУСПЕНЗИРОВАНИЕ ЧАСТИЦ: ОБЗОР [PARTICLE RESUSPENSION: A REVIEW]. ENVIRONMENT INTERNATIONAL 4 (1980) 107 [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/0160-4120\(80\)90005-7](https://doi.org/10.1016/0160-4120(80)90005-7)

Приложение: карты участков заражения

Белорусские карты

Карты участков заражения из метеорологических служб Беларуси. Для всех карт: верхняя шкала указана в $\text{кБк}/\text{м}^2$, а нижняя шкала в $\text{Ки}/\text{км}^2$. Английские названия добавлены авторами.

Карты участков заражения зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, 2009 г.

Цезий-137:

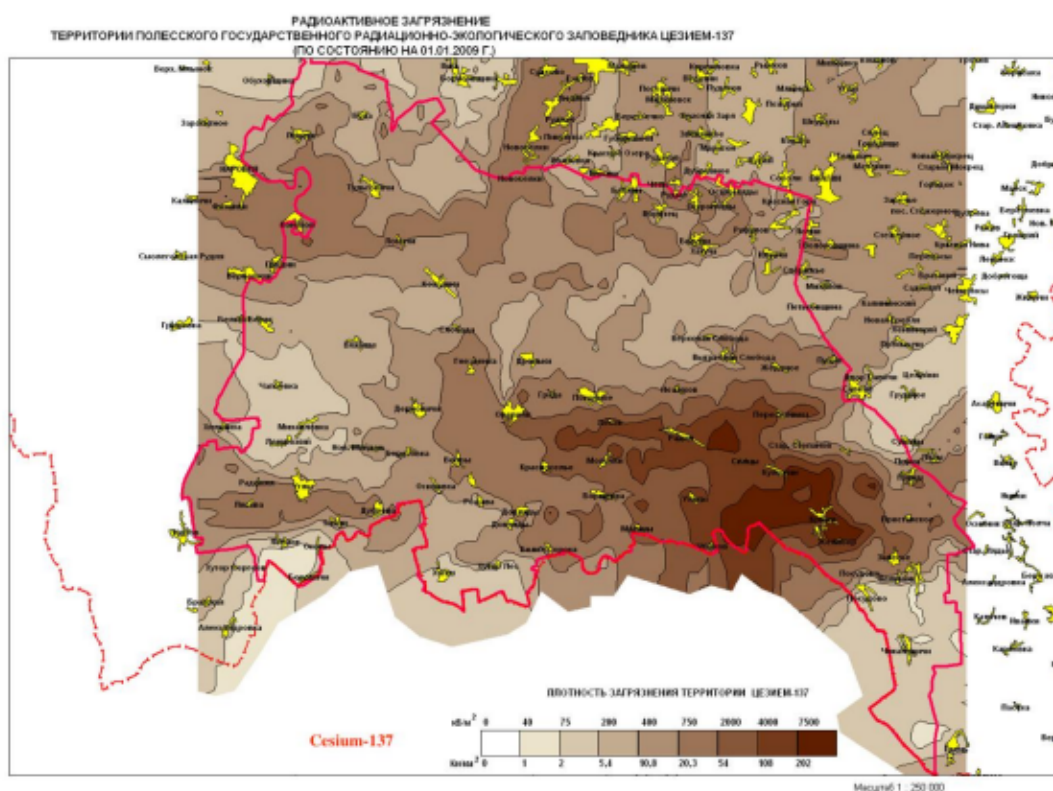


Рисунок А1: Карта 2009 г. осадения цезия-137 на почве в белорусской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Верхняя шкала указана в $\text{кБк}/\text{м}^2$, а нижняя шкала в $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Стронций-90:

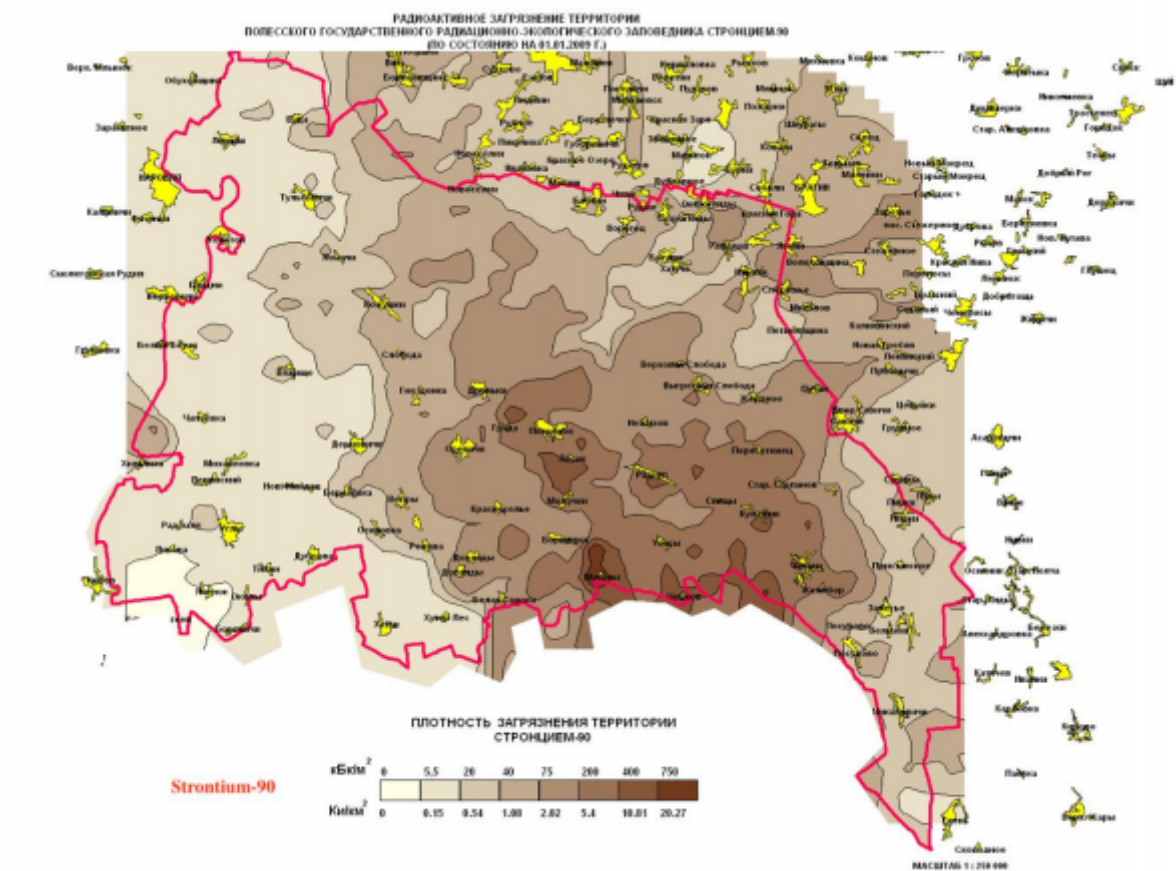


Рисунок А2: Карта 2009 г. осаднения стронция-90 на почве в белорусской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Верхняя шкала указана в $\text{кБк}/\text{м}^2$, а нижняя шкала в $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Плутоний-238, 239, 240:

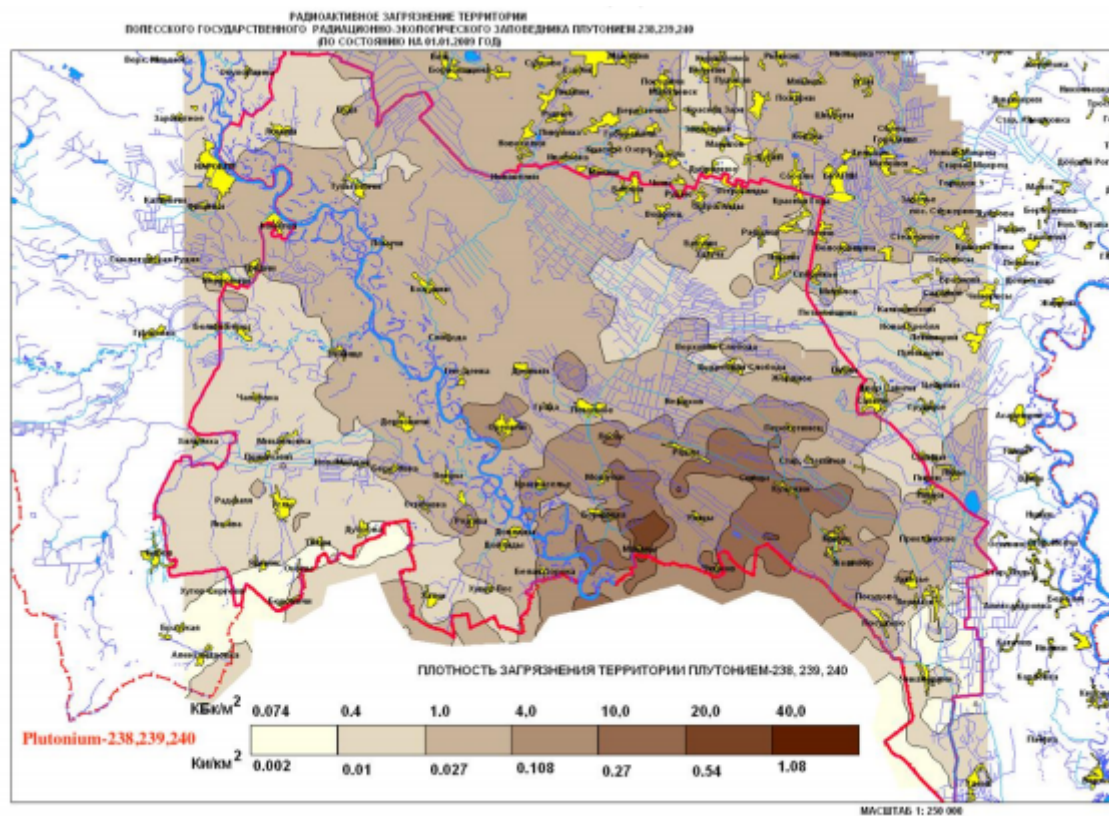


Рисунок А3: Карта 2009 г. осаднения плутония-238, 239, 240 на почве в белорусской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Верхняя шкала указана в КБк/м², а нижняя шкала в Ки/км².

Плутоний-241:

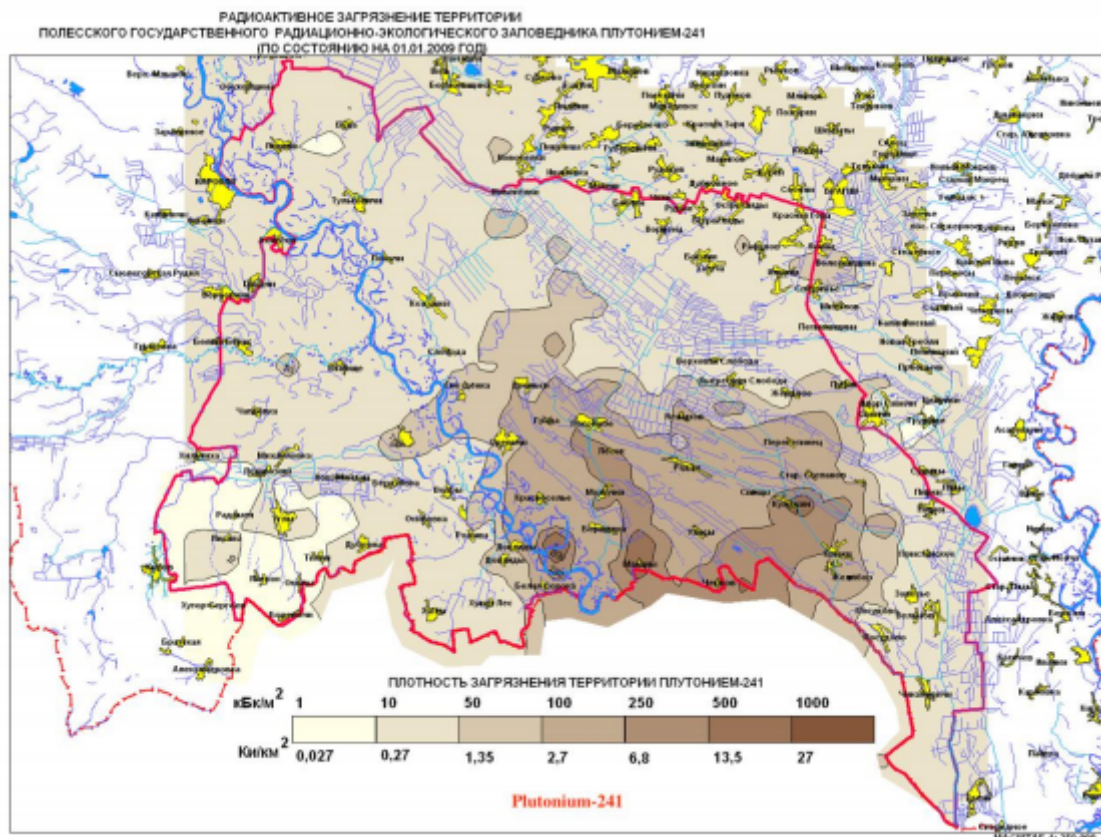


Рисунок А4: Карта 2009 г. осадения плутония-241 на почве в белорусской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Верхняя шкала указана в кБк/м², а нижняя шкала в Ки/км².

Америций-241:

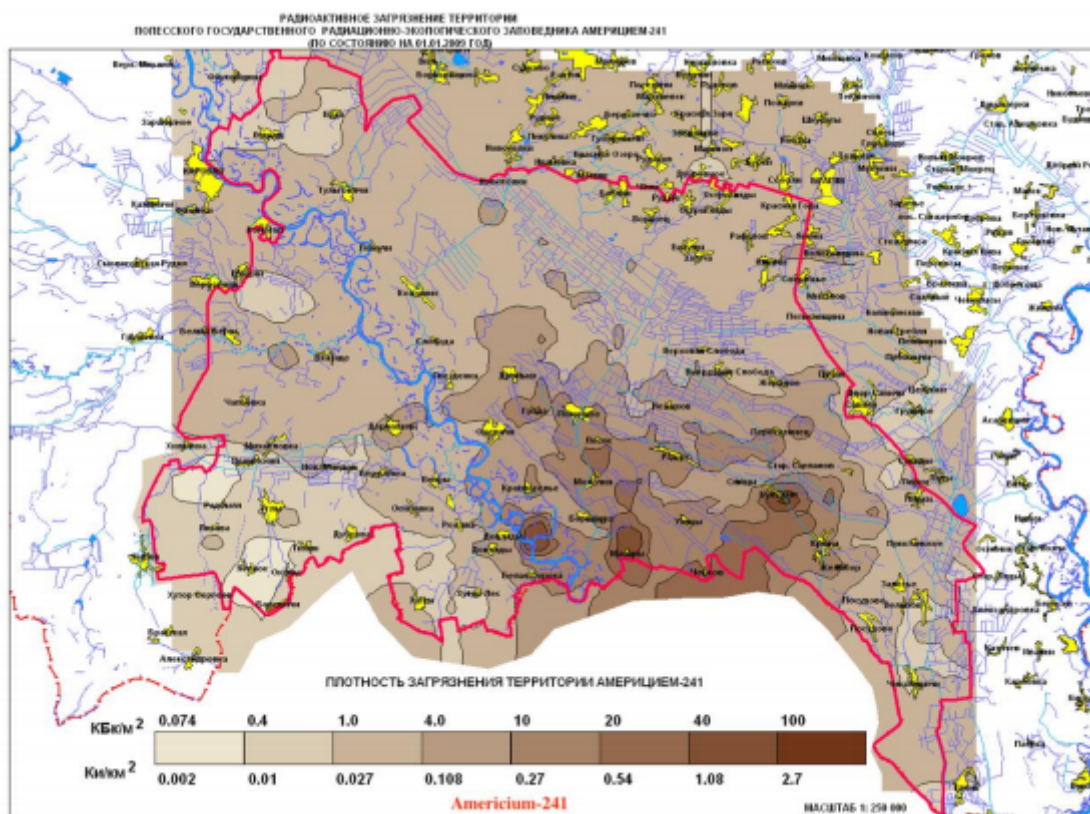


Рисунок А5: Карта 2009 г. осадения америция-241 на почве в белорусской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Верхняя шкала указана в КБк/м², а нижняя шкала в Ки/км².

Карты загрязнения южной части Беларуси цезием, 2016 г.

Гомельская область:

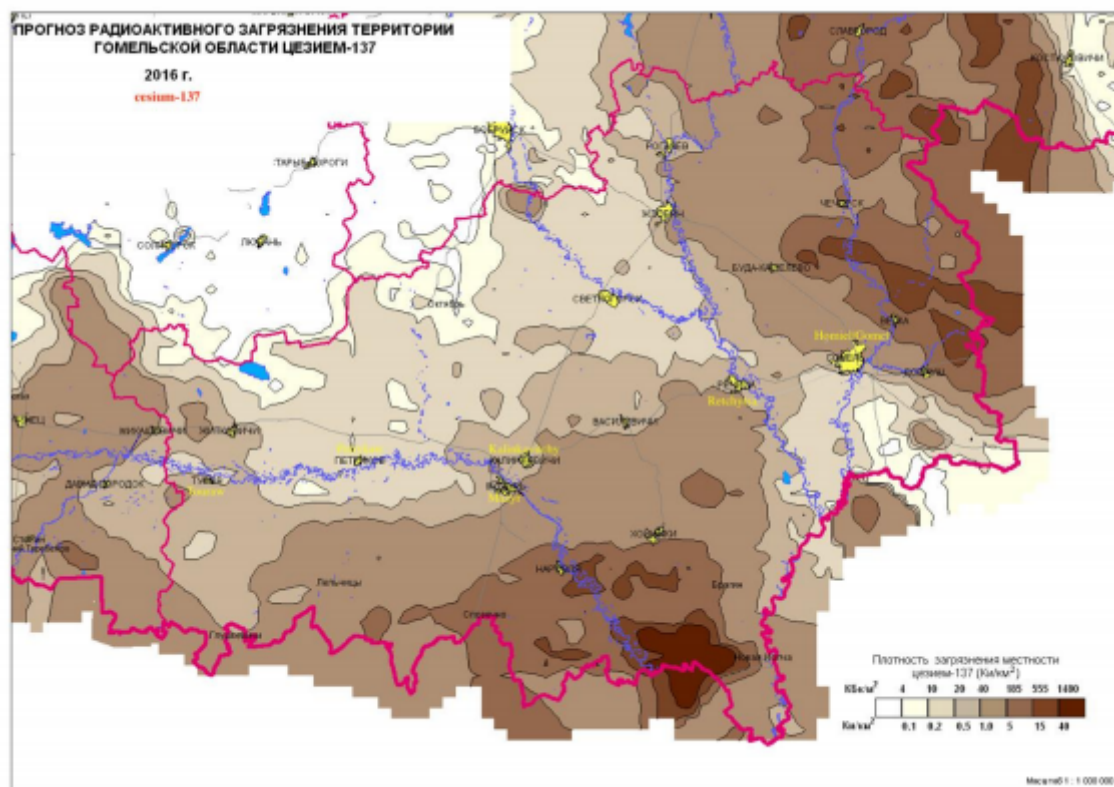


Рисунок А6: Карта 2016 г. осадения цезия-137 на почве в Гомельской области. Верхняя шкала указана в кБк/м², а нижняя шкала в Ки/км².

Брестская область:

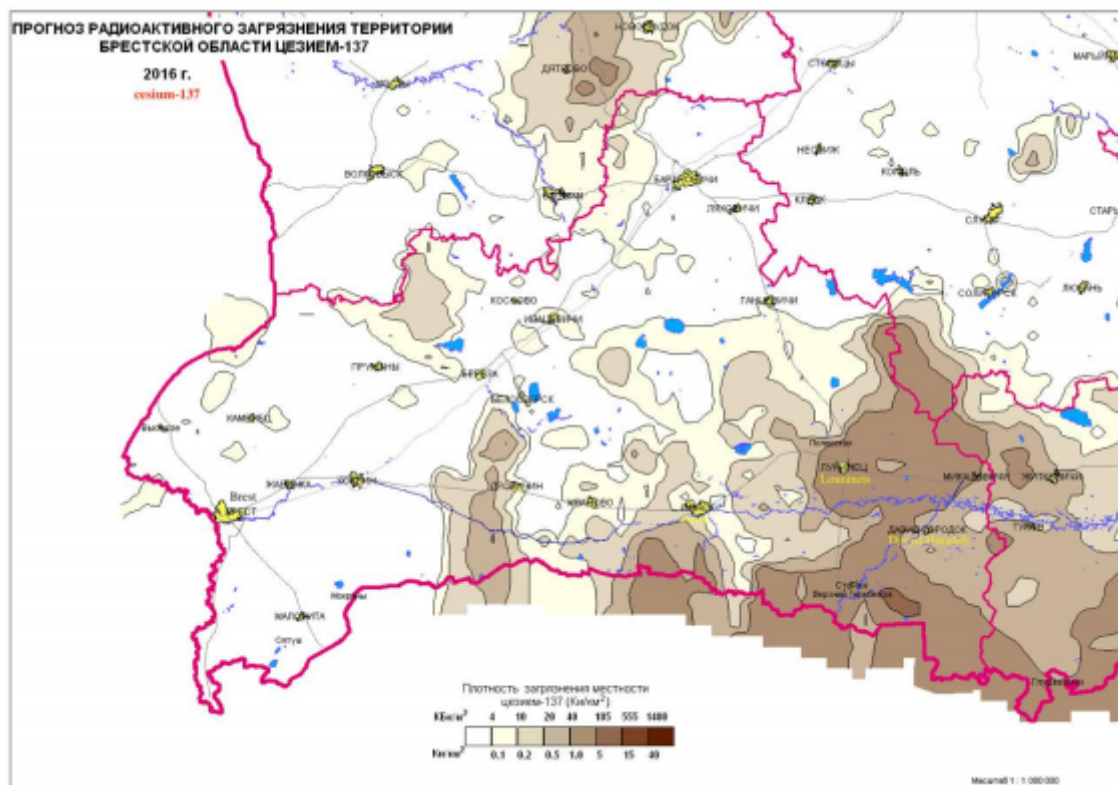


Рисунок А7: Карта 2016 г. осадения цезия-137 на почве в Брестской области. Верхняя шкала указана в $\text{кБк}/\text{м}^2$, а нижняя шкала в $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Реконструкция карты загрязнения цезием вдоль реки Припять (2016 г.)

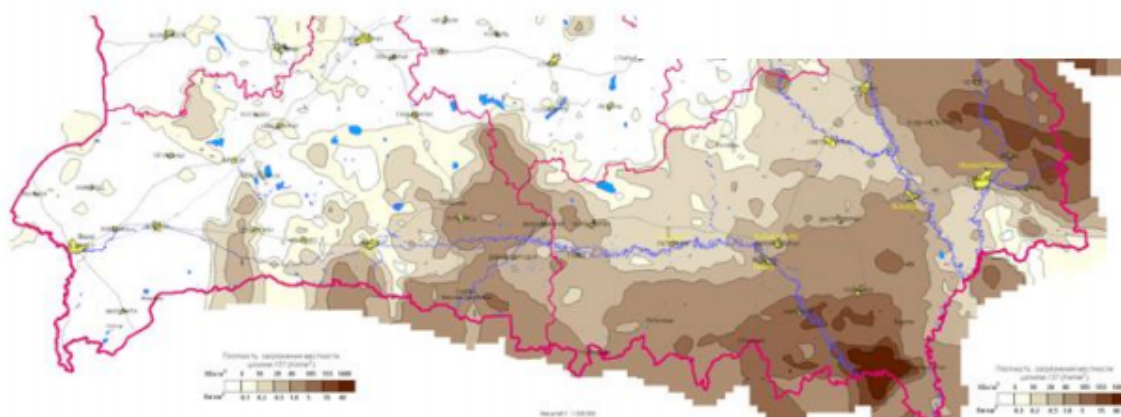


Рисунок А8: Реконструкция карты наземного осадения цезия-137 в южной части Беларуси, путем слияния двух предыдущих карт. Верхняя шкала указана в $\text{кБк}/\text{м}^2$, а нижняя шкала в $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Украинские карты

Карты предоставляются Государственным агентством Украины по управлению зоной отчуждения¹⁰. Английские имена были добавлены нами.

Зона отчуждения

Цезий-137 (май 2011 г.)

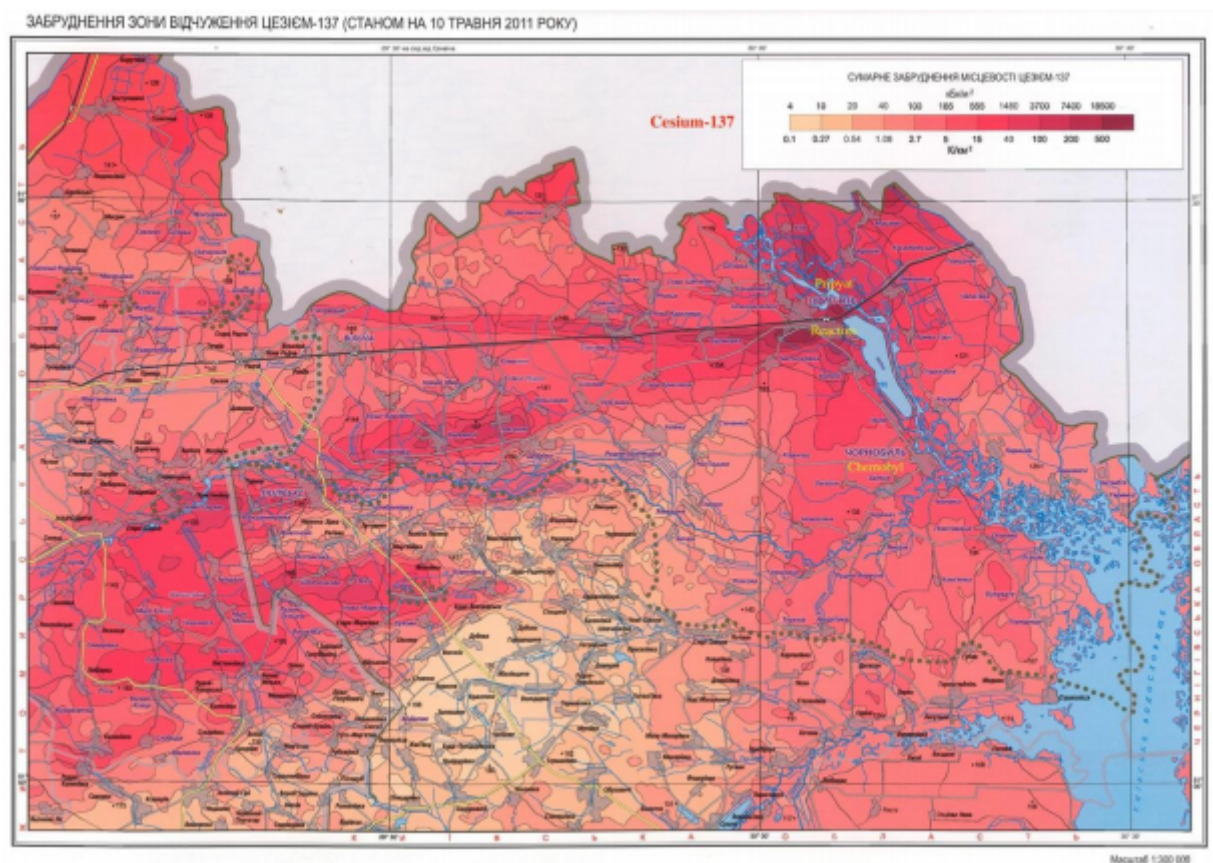


Рисунок А9: Карта осадения цезия-137 на почве в украинской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, 2011 г. Верхняя шкала указана в $\text{кБк}/\text{м}^2$, а нижняя шкала в $\text{Ки}/\text{км}^2$.

¹⁰ <http://dazv.gov.ua/en/>

Стронций-90 (май 2011 г.)

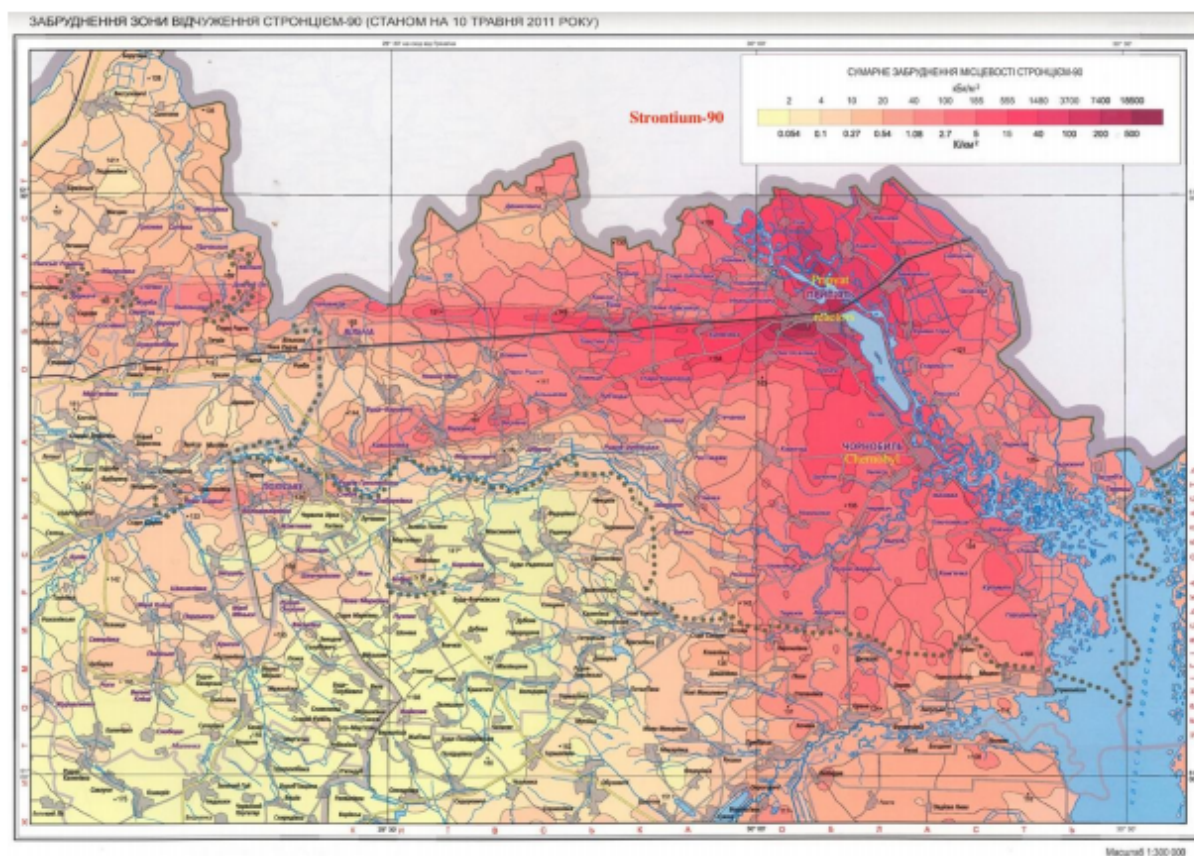


Рисунок А10: Карта осаждения стронция-90 на почве в украинской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, 2011 г. Верхняя шкала указана в кБк/м², а нижняя шкала в Ки/км².

Изотопы плутония

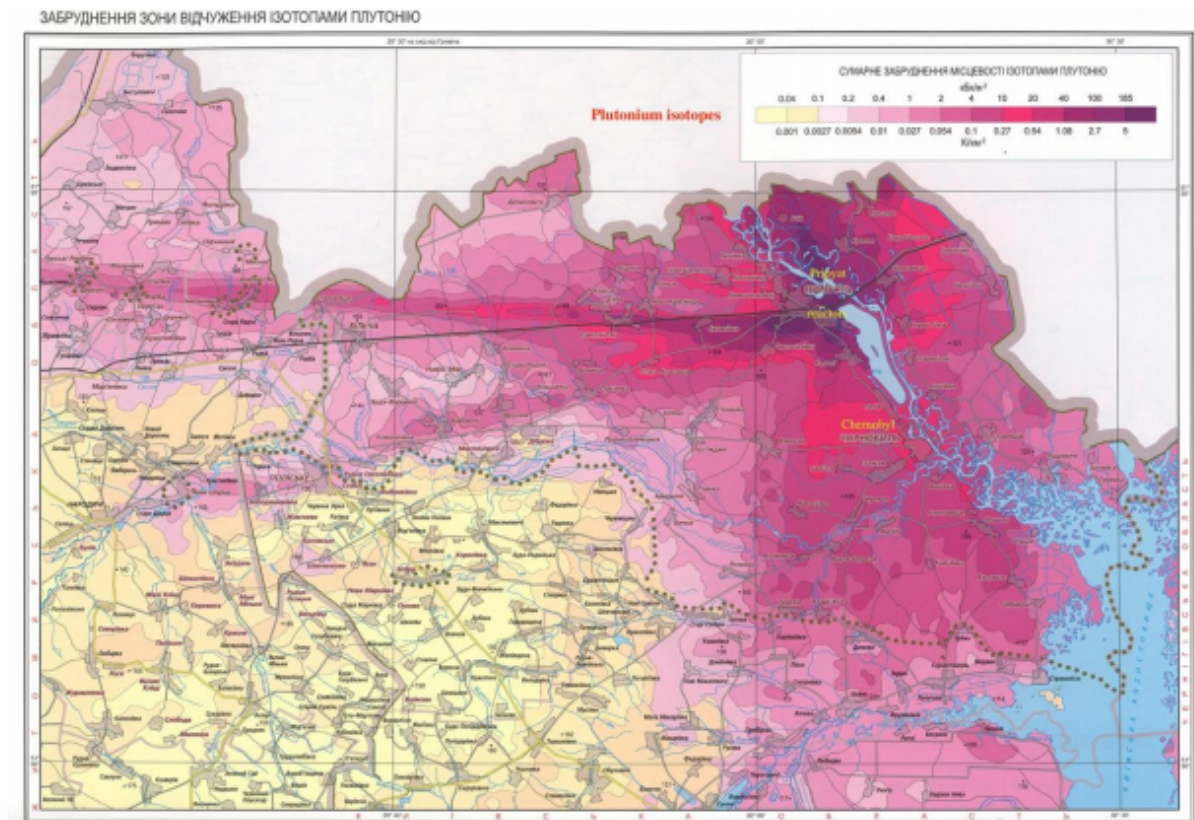


Рисунок А11: Карта осаднения изотопов плутония на почве в украинской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, 2011 г. Верхняя шкала указана в $\text{кБк}/\text{м}^2$, а нижняя шкала в $\text{Ки}/\text{км}^2$.

Америций-241

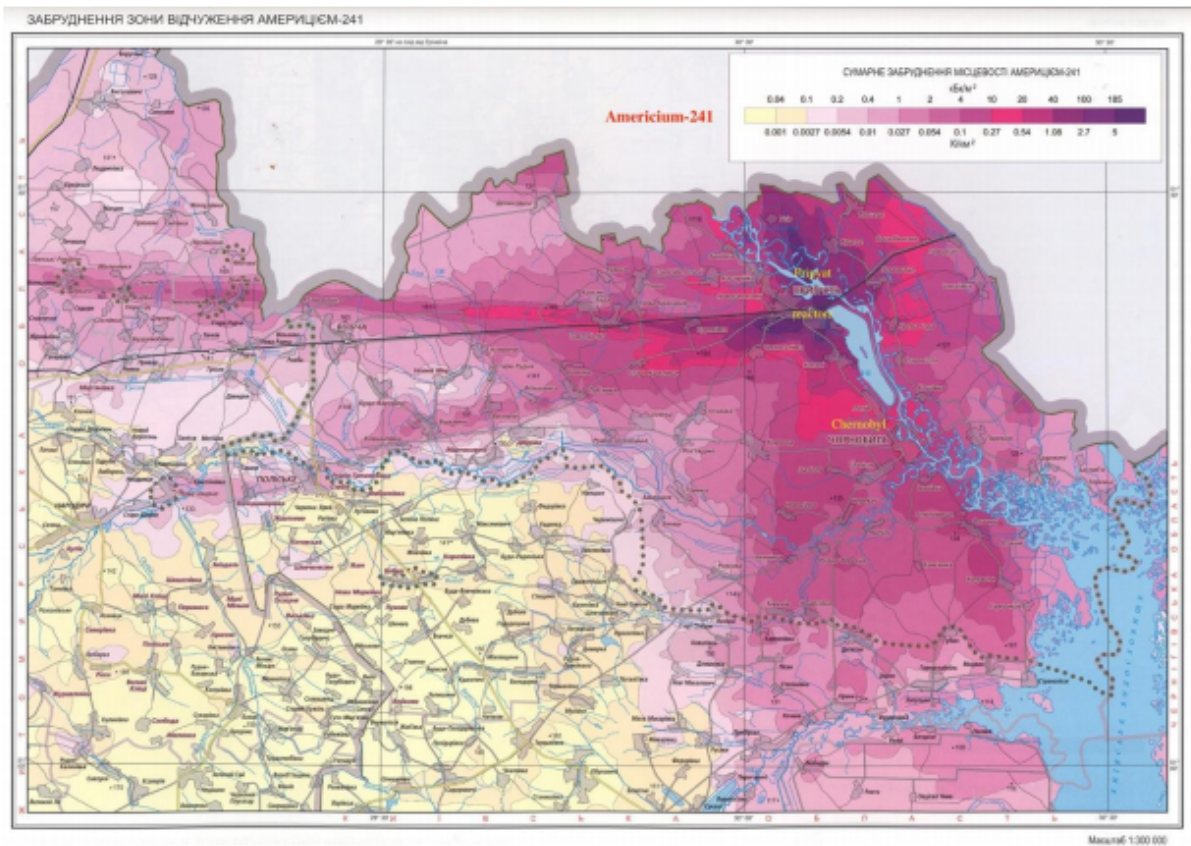


Рисунок А12: Карта осаждения америция-241 на почве в украинской части зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, 2011 г. Верхняя шкала указана в кБк/м², а нижняя шкала в Ки/км².