

УДК 631.438 (571.63)

И.И. КОНДРАТЬЕВ, С.С. ЛИШАВСКИЙ

## Радиоактивное загрязнение полуострова Дунай (Приморский край) в свете перспектив строительства промышленных объектов на его территории

*Приведены ранее не публиковавшиеся материалы с результатами обследования радиоактивного следа на п-ове Дунай, образовавшегося в результате выпадения радиоактивных частиц при аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма в 1985 г. В связи с проектом сооружения на берегу Уссурийского залива в районе выхода радиоактивного следа на побережье терминала для перевалки угля, а также планами освоения территории данная работа может быть полезна для исполнителей экологических исследований в этом районе.*

*Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, радионуклиды, авария в бухте Чажма, Уссурийский залив, угольный терминал.*

**Radioactive contamination of the Dunai Peninsula (Primorsky Krai) in view of the prospects for the construction of industrial facilities.** I.I. KONDRATYEV (Pacific Institute of Geography, FEB RAS, Vladivostok), S.S. LISHAVSKY.

*The article includes previously unpublished results of survey of radioactive trace on the Dunai Peninsula, formed after the fallout of radioactive particles in a nuclear submarine accident in the Chazhma Bay in 1985. Regarding the project to construct the coal terminal on the coast of the Ussuri Bay in the area of radioactive trace, as well as plans for the territory development, this work can be useful for local environmental researches.*

*Key words: radioactive contamination, radionuclides, the Chazhma Bay accident, the Ussuri Bay, coal terminal.*

Решение обратиться к проблемам радиоактивного загрязнения п-ова Дунай было принято после ознакомления с проектом возведения угольного терминала «Порт Вера». Терминал предполагалось возводить на берегу Уссурийского залива, в районе выхода радиоактивного следа, образовавшегося в результате выброса радиоактивного вещества в атмосферу при аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма 10 августа 1985 г.

Согласно сведениям, приведенным в презентации проекта «Порт Вера», для оценки экологического состояния территории строительства ОАО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ» в 2014 г. и ЦБТС (Центр безопасности транспортных систем) в 2015 г. были проведены инженерно-экологические изыскания. Как утверждается в презентации, обследование района предполагаемого строительства было проведено в полном объеме, включая и радиационное обследование территории. Данные с результатами радиационного обследования в презентации не приводятся, но, судя по всему, они вполне удовлетворили заказчиков. Нет оснований сомневаться в добросовестности исполнителей радиационного обследования территории. Гамма-съемка территории, которая обычно проводится при

\*КОНДРАТЬЕВ Игорь Иванович – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток), ЛИШАВСКИЙ Сергей Сергеевич. \*E-mail: igor@tig.dvo.ru

инженерно-экологических изысканиях, могла не выявить аномальных уровней радиоактивности, так как сам объект строительства мог находиться на некотором расстоянии от радиоактивно загрязненных участков (координаты площадки места строительства терминала в презентации не указаны). Предпроектные исследования предусматривают изучение фондовых материалов, относящихся к району строительства, и они должны были выявить наличие радиоактивно загрязненных участков в районе предполагаемого строительства. Полноценных публикаций в открытой печати о радиоактивном загрязнении территории п-ова Дунай крайне мало. Так, в монографии В.Н. Соифера «Радиоэкология северного шельфа Японского моря», вышедшей в 2002 г., району радиоактивного следа посвящены несколько абзацев текста, рисунок и таблица с результатами измерений гамма-активности, что, конечно, позволяет составить некоторое представление о радиоактивном загрязнении п-ова Дунай [6]. Хотя территория предполагаемого места возведения сооружений терминала, возможно, и не подвергалась радиоактивному загрязнению, но при строительстве должны сооружаться подъездные пути и прочие коммуникации, будет перемещаться грунт, в том числе и, возможно, радиоактивно загрязненный.

Авария на атомной подводной лодке в бухте Чажма, произошедшая в августе 1985 г., многократно описана в научных и газетных публикациях. Кратко напомним о развитии аварии. Подводная лодка стояла у пирса судоремонтного завода, и на ней производилась перезагрузка активной зоны реактора. Перезагрузка была почти завершена, но выяснилось, что не достигнута герметичность прилегания верхней крышки реактора. Как позже установили, под крышку попал стержень обгоревшего электрода. Для устранения этой неисправности крышку реактора стали поднимать. Из-за нарушения технологии работ вместе с крышкой реактора стала подниматься компенсационная решетка, что привело к разгону реактора. Последовали две вспышки, и в реакторном отсеке начался пожар, который был ликвидирован только через 4 ч. В результате первой нейтронной вспышки произошел взрыв, который привел к полной разгерметизации реактора. Крышка реактора была отброшена на несколько метров. В результате второго взрыва была выброшена тепловыделяющая сборка. Анализ динамики развития аварии на атомной подводной лодке (АПЛ) был проведен Радиоэкологическим центром изучения гидросферы (РЭЦИГ). Согласно его оценкам, эквивалентная мощность взрыва по числу делений составляла около 350 кг тринитротолуола. При таком числе делений ядер урана максимальный выход  $^{137}\text{Cs}$  составлял около 0,056,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,035 Ки, что на 8 порядков меньше соответствующих выбросов при аварии на Чернобыльской АЭС [1].

В результате взрывов радиоактивные частицы были инжектированы в атмосферу. Наиболее крупная фракция выпала в непосредственной близости от места аварии, а более мелкие частицы под воздействием ветра стали перемещаться в северо-западном направлении. Выпадая на поверхность земли, они образовали радиоактивный след, пересекающий п-ов Дунай в северо-западном направлении (рис. 1). По данным метеостанций «Владивосток» и «Находка» метеоусловия 10 августа 1985 г. характеризовались слабыми южными и юго-восточными ветрами, со скоростями 2–8 м/с, влажностью 100 %, высотой облачности 200–300 м и периодическими непродолжительными осадками 2–4 мм. Высокая влажность и осадки, по-видимому, оказали воздействие на скорость выведения радиоактивных частиц из атмосферы. След, оставленный выпавшими радиоактивными частицами, пересекает п-ов Дунай и вышел на побережье Уссурийского залива. Для п-ова Дунай характерен типичный для юга Приморья ландшафт с сопками высотой 100–200 м. Преобладает лесная растительность лиственных пород. Радиоактивный след захватил бассейны нескольких ручьев, впадающих в Уссурийский залив, и бухту Чажма. Отсутствие достоверной информации не позволяет проследить протяженность радиоактивного следа за пределами полуострова. В монографии В.Н. Соифера приводятся сведения об обнаружении источников гамма-излучения в донных отложениях в районе выхода радиоактивного следа в Уссурийский залив [6]. Но результаты этих измерений затруднительно интерпретировать в количественные параметры. При проведении исследований радиоактивной загрязненности

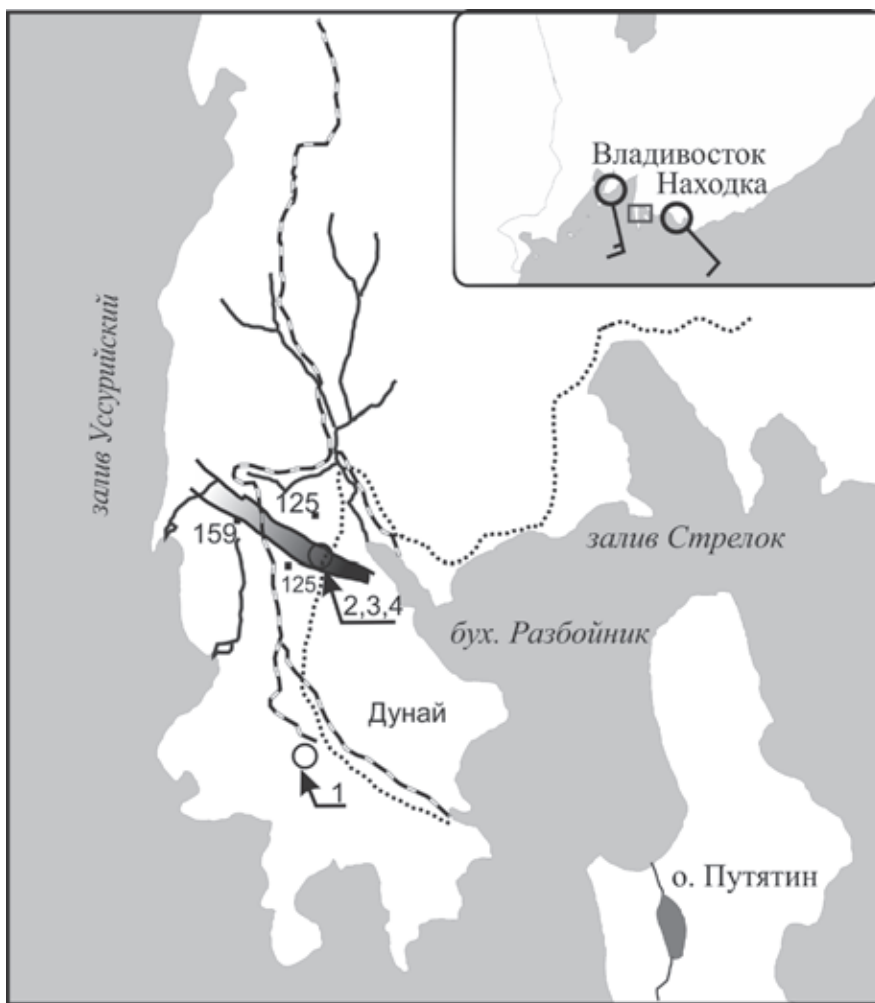


Рис. 1. Картограмма радиоактивно загрязненного участка на территории п-ова Дунай и мест отбора проб: 1 – радиоактивно загрязненный участок с уровнями гамма-излучения выше 60 мкР/ч; 2 – направление и скорость ветра; 3 – точки отбора проб почвы; 4 – автодороги; 5 – высоты

зал. Петра Великого в 1994 г. в пробе донного грунта в районе выхода радиоактивного следа в Уссурийский залив был обнаружен  $^{60}\text{Co}$  (~ 600 Бк/кг) [10]. Учитывая небольшую высоту подъема радиоактивного выброса (ниже нижней границы облачности), осадки, малые скорости ветра, можно предположить, что радиоактивные частицы выпали в основном на сушу и частично на водную поверхность Уссурийского залива.

До начала 1990-х годов все сведения о ядерной аварии в бухте Чажба были засекречены. В результате настойчивых требований обеспокоенной общественности в 1991–1992 гг. было проведено обследование района аварии Таежной геологической экспедицией ПГО «Тажгеология», специалистами ТОФ и Госкомгидромета. С начала 1990-х годов систематические исследования в бухте Чажба проводят сотрудники Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН. Основная масса исследований последствий аварии на АПЛ, опубликованных в открытой печати, посвящена радиоактивному загрязнению морских вод, донных отложений и гидробионтов [4, 5, 7–10]. Наиболее полно результаты радиационных обследований района аварии обобщены в монографии В.Н. Соифера [6].

Автор монографии помимо исследований, выполненных под его руководством, обобщил обширный ранее не опубликованный материал, полученный специалистами ТОФ и Госкомгидромета.

Наиболее полно территория радиоактивного следа была обследована специалистами Таежной геологической экспедиции. В 1990 г. в районе аварии на площади 140 км<sup>2</sup> аэропартия ПГО «Таежгеология» выполнила аэрограммно-спектрометрическую съемку, в результате которой была выявлена аномальная зона высокой интенсивности гамма-излучения на п-ове Дунай протяженностью 6 км и шириной 1,5 км, от бухты Чажма до Уссурийского залива. Обследование распределения радиоактивного загрязнения проводилось по предварительно подготовленной сети 100 × 10 м методом пешеходной гамма-съемки от бухты Чажма до Уссурийского залива. В местах аномальных концентраций радиоактивности – как на радиоактивном следе, так и за его пределами – проводились более детальные обследования с шагом 5 × 5 м. На основании имеющейся информации были проложены три маршрутные полосы: центральная, приблизительно по оси радиоактивного следа, и две параллельно ей, справа и слева, на расстоянии примерно 500 м. Перпендикулярно оси следа через каждые 100 м выполнялись маршруты по всей территории следа. Геолого-радиометрические работы проводились с целью оценки глубины почвенной миграции радиоактивной загрязненности в районе следа, а также за его пределами. В общей сложности сотрудниками комплексной поисково-съемочной экспедиции ПГО «Таежгеология» были произведены измерения мощности эквивалентной дозы (МЭД) более чем в 5000 точках. Обследование радиоактивного следа осуществлялось в основном радиометрическими методами. Для измерения МЭД гамма-излучения использовались приборы СРП-68-01 и ДП-5В. Измерения проводились на уровнях 0,1 и 1,0 м над поверхностью земли.

Результаты измерений интенсивности гамма-излучения представлены на рис. 2. Изолинии доз гамма-излучения (в мкР/ч) построены по данным съемки. Наиболее высокие уровни радиоактивной загрязненности отмечены в узкой полосе шириной около 100 м при протяженности до 2 км. На рисунке этот участок ограничен изолиниями 300 мкР/ч. Участок, ограниченный изолинией 60 мкР/ч, имеет ширину 200–300 м и пересекает весь полуостров.

Результаты обследования территории позволили определить радиоактивно загрязненные участки территории п-ова Дунай (рис. 3). В соответствии с нормативными документами («Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами», СПОРО-85) объекты с удельной активностью выше 370 Бк/кг в 1990-х годах относились к категории твердых радиоактивных отходов [2]. Предельно допустимые концентрации (ПДК) для водных объектов составляли по <sup>137</sup>Cs – 555 и <sup>60</sup>Co – 1295 Бк/кг. Позже уровни допустимой активности были пересмотрены. В СПОРО-2002 минимальная допустимая активность <sup>137</sup>Cs и <sup>60</sup>Co для твердых отходов составляет 400 Бк/кг, для жидких – 110 и 410 Бк/кг соответственно [3].

За время, прошедшее с момента аварии до обследования радиоактивного следа в 1991 г., радионуклиды мигрировали с поверхности вглубь почвы. Глубина миграции определялась путем проходки горных выработок – шурфов. Всего было пройдено четыре линии шурфов, пересекающих след и перпендикулярных его оси (рис. 2). Шурфы проходили сечением 1,5 × 1,5 м в рыхлых отложениях на глубину 0,7–1,8 м, часть шурфов пройдена до коренных пород.

Геологические разрезы на радиоактивном следе с изолиниями равных мощностей доз гамма-излучения представлены на рис. 4. В коре выветривания горных пород уровни гамма-излучения 60–120 мкР/ч распространялись на глубину 0,3–0,6 м и редко до 1,0 м. В отдельных случаях аномальные уровни радиоактивности прослеживались до коренных пород. Результаты исследований вертикальной миграции радионуклидов свидетельствуют о том, что глубина их проникновения зависит от концентрации на поверхности и состава почв. При высоких концентрациях на поверхности радионуклиды проникают в более глубокие слои. Отмечается более интенсивная миграция в почвенно-щебнистой коре выветривания.

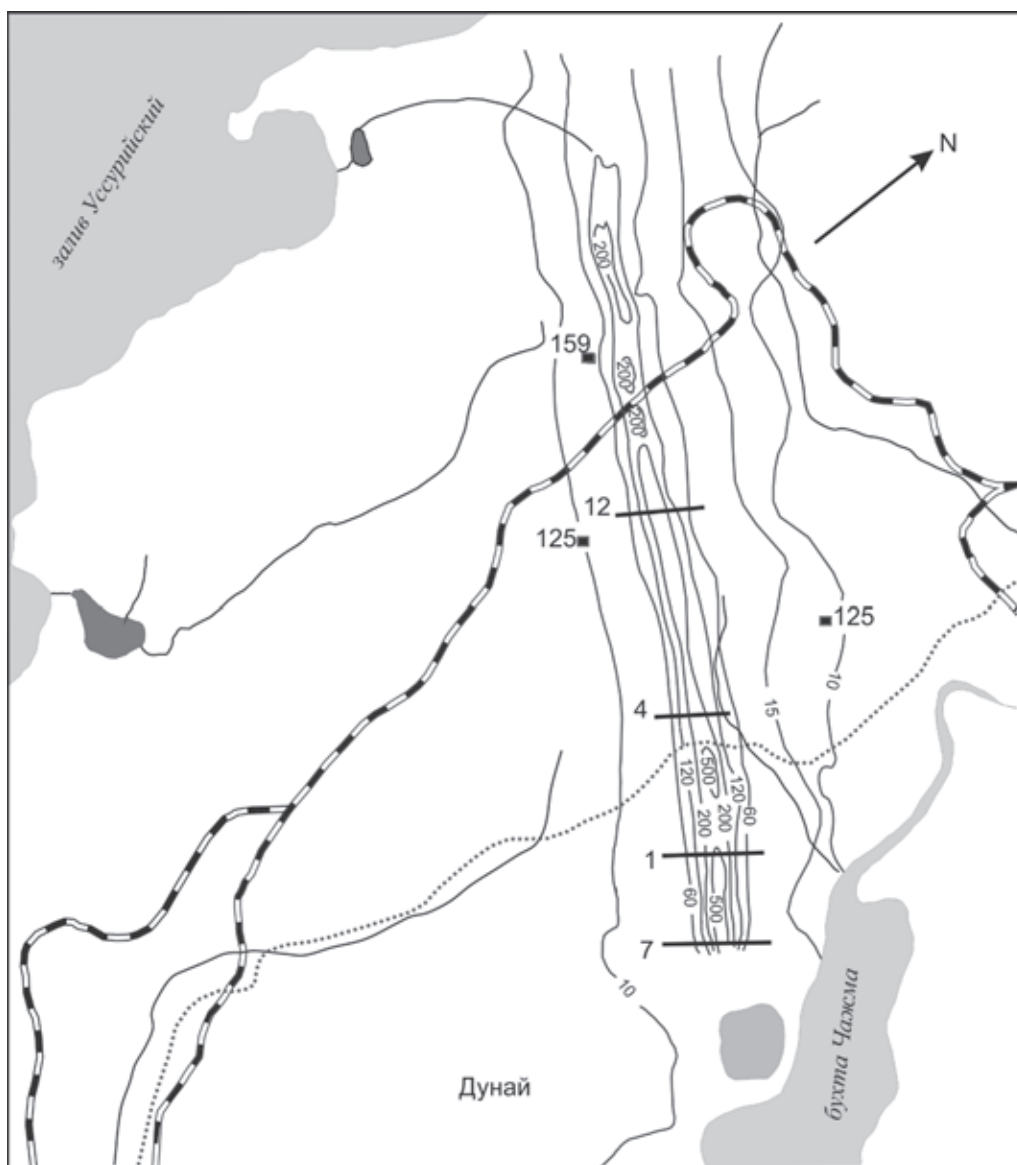


Рис. 2. Картограмма радиоактивного следа на п-ове Дунай в 1992 г. с изолиниями равных мощностей доз гамма-излучения (мкР/ч). Цифрами 1, 4, 7, 12 обозначены геологические разрезы

К сожалению, радионуклидный состав для подавляющего числа проб не определялся, а измерялась суммарная гамма-активность всех изотопов. Поэтому по имеющимся данным невозможно раздельно определить глубину проникновения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{60}\text{Co}$ . Но ряд проб растительности был подвергнут гамма-спектрометрическому анализу с определением изотопного состава, что позволило составить представление о балансе радионуклидного состава исследуемых объектов (табл. 1). Более чем на 99 % радиоактивное загрязнение коры бархатного дерева и стебля лимонника определялось изотопом  $^{60}\text{Co}$ , который является продуктом наведенной активности, т.е. образуется в результате воздействия потока нейтронов на детали металлических конструкций. Это позволяет предположить, что именно  $^{60}\text{Co}$  являлся радионуклидом, преобладающим в почвах на радиоактивном следе. Результаты обследования района аварии, проведенного Таежной геологической экспедицией, в 1992 г. были сведены в «Отчет по результатам радиоэкологических работ в районе

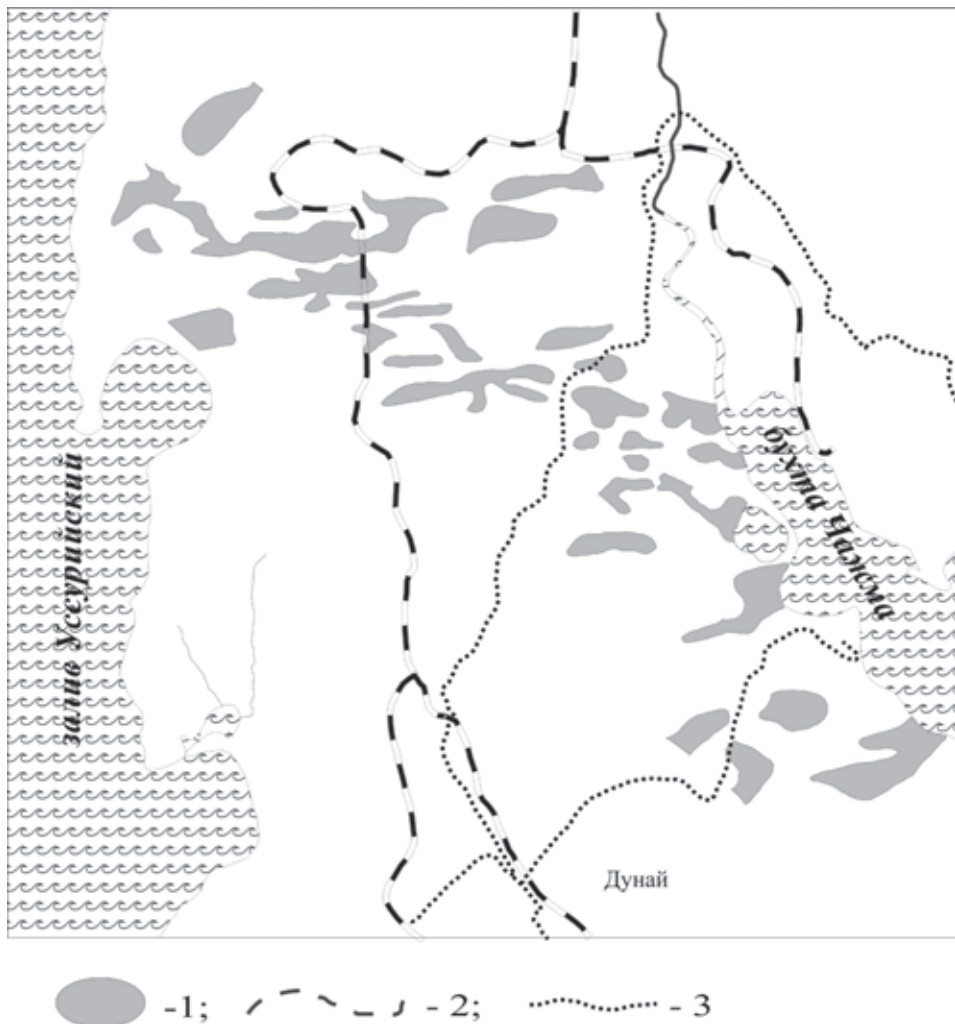


Рис. 3. Картограмма радиоактивно загрязненных участков на территории п-ова Дунай в 1992 г.: 1 – участки радиоактивно загрязненной почвы с уровнями активности  $10^{-8}$  Ки/кг (370 Бк/кг); 2 – железная дорога; 3 – автодорога

Таблица 1

Удельная гамма-активность проб природных объектов в районе аварии на АПЛ в бухте Чажма в период обследования в 1991–1992 гг., Бк/кг

№ п/п	Объект исследования	Активность	
		средняя	минимальная–максимальная
1	Почва	390	0–11800
2	Грибы	480	
3	Донные отложения		0–7700
4	Поверхностные воды		7,5–140
5	Морские прибрежные воды		27–125
6	Подземные воды		14–52
7	Кора бархатного дерева	$^{60}\text{Co}$ – 1800; $^{137}\text{Cs}$ – 5,9	
8	Стебель лимонника	$^{60}\text{Co}$ – 1260; $^{137}\text{Cs}$ – 4,1	
9	Другие виды растительности		$^{60}\text{Co}$ – 0–24; $^{137}\text{Cs}$ – 1–3,7

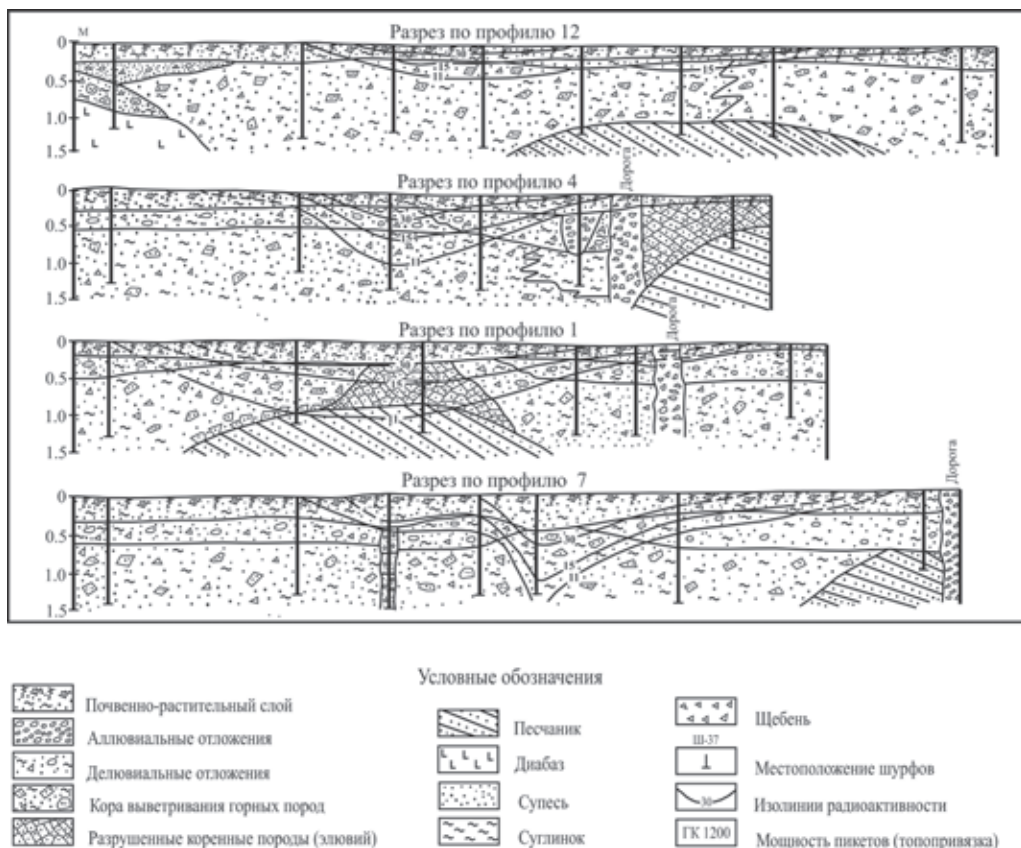


Рис. 4. Геологические разрезы на радиоактивном следе с изолиниями равных мощностей доз гамма-излучения

ядерной аварии 1985 г. (бухта Чажма) в Шкотовском районе Приморского края». Выполненный в машинописном виде отчет был передан в администрацию Приморского края, которая являлась заказчиком работ.

Но анализа результатов обследования проведено не было, и материалы остались недоступными широкому кругу пользователей, хотя представляли большой научный интерес.

Помимо Таежной геологической экспедиции на радиоактивном следе проводили контрольные измерения МЭД, отбор проб почв, донных отложений, поверхностных и грунтовых вод, а также растительности специалисты ТОФ. Ими было отобрано около 100 проб. В пределах погрешности измерений данные Таежгеологии и ТОФ совпадали [5]. Гамма-спектрометрический анализ проб был проведен в лаборатории мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды Приморского УГМС (Управления гидрометеорологической службы). Часть проб параллельно измерялась в лаборатории ТОФ.

В середине 1990-х годов авторы данной работы подготовили программу «Эколого-геохимические исследования миграции радионуклидов в условиях муссонного климата (полуостров Дунай)» и статью: «К вопросу о ядерной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма на юге Приморского края». К этому времени уже были опубликованы первые работы об аварии в бухте Чажма и радиоактивном загрязнении вод, донных отложений и суши. О возможности радиоактивного загрязнения в результате воздушного переноса продуктов деления только упоминалось в отдельных работах. Статья была подготовлена по материалам отчета ПГО «Таежгеология». В ней были изложены основные результаты радиоэкологического обследования территории п-ова Дунай и приведены результаты анализа радионуклидного состава нескольких проб, отобранных авторами данной работы в 1996 г. в месте пресечения радиоактивным следом дороги в пос. Дунай (рис. 1, табл. 2).

Спустя 11 лет после аварии гамма-активность проб почв определялась изотопами  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Проба № 2 была отобрана в поверхностном слое 0–5, № 3 – в слое 5–10 см. Проба № 4 взята из грунта, смытого дождями с проезжей части дороги. Проба № 1 отобрана для контроля за пределами радиоактивного следа, что подтверждает отсутствие в поверхностном слое почвы  $^{60}\text{Co}$ . Уровни загрязнения радионуклидом  $^{137}\text{Cs}$  находились в пределах, характерных для почв Приморского края [9]. В табл. 2 также приведены концентрации изотопа естественного происхождения  $^{40}\text{K}$ . Основной вклад в радиоактивное загрязнение обследованного участка давал изотоп  $^{60}\text{Co}$ , который на 95–97 % определял состав гамма-активности техногенного происхождения. Уровни гамма-активности  $^{137}\text{Cs}$  в месте отбора проб почвы были в несколько раз ниже радиоактивности изотопа естественного происхождения  $^{40}\text{K}$ . Учитывая содержания техногенных радионуклидов в почве и растительности в 90-х годах прошлого века и период полураспада этих радиоактивных элементов, можно с достаточной уверенностью утверждать, что они будут идентифицированы в почве и растительности и в настоящее время. Практически ничего не известно о том, как мигрировали радионуклиды за прошедший 30-летний период, но можно предположить, что в отдельных случаях может быть обнаружена активность выше минимального допустимого уровня.

К сожалению, программа исследований, подготовленная соавторами в 1996 г., не нашла поддержки ни в одной инстанции, в которые мы обращались. Статья также не нашла своих издателей, по-видимому, сказалась инерция многолетних запретов на публикацию материалов по радиоактивности. В настоящей работе ранее написанная статья была переработана и дополнена материалами из отчета и более поздних публикаций.

За время, прошедшее после аварии, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в почве и растительности сократились более чем в 2 раза, а  $^{60}\text{Co}$  – более чем в 6 раз. Но как мигрировали радионуклиды, где они концентрировались – практически неизвестно, так как, судя по публикациям в открытой печати, систематических исследований на радиоактивном следе не проводилось.

Проект угольного терминала «Порт Вера» был закрыт, но не из-за его расположения в районе радиоактивного следа. Создается впечатление, что о радиоактивном следе все забыли. Учитывая настойчивость экспортеров угля, вполне возможно, что в недалеком будущем в районе радиоактивного следа возникнет новый проект угольного терминала или другого объекта. Данная статья не претендует на глубину освещения проблемы, но есть надежда, что привлечет к ней внимание ученых и других заинтересованных лиц и организаций, по крайней мере при проведении инженерно-экологических изысканий на п-ове Дунай.

В связи с проектами экономического развития Дальнего Востока назрела необходимость провести обследование независимыми организациями территорий, ранее подвергшихся радиоактивному загрязнению, что позволит окончательно прояснить вопрос об их пригодности для хозяйственного использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль Ю.А., Корт М. де, Джонес А.Р., Назаров И.М., Фридман Ш.Д., Красникова Е.В., Стукин Е.Д., Келли Дж.Н., Матвиенко И.И., Покуменко Ю.П., Табачный Л.Я. Атлас радиоактивного загрязнения Европы цезием-137 после чернойбыльской аварии // Метеорол. и гидрология. 1996. № 4. С. 3–21.
2. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-85). СанПиН 42-129-11-3938-85. М.: Минздрав СССР, 1985. 70 с.
3. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002). СП 2.6.6.1168-02. М.: Минздрав России, 2003. 29 с.

Таблица 2  
Результаты гамма-спектрометрического анализа проб почв на радиоактивном следе в 1996 г. (Бк/кг)

№ п/п	$^{40}\text{K}$	$^{60}\text{Co}$	$^{137}\text{Cs}$
1	330	Н.п.	76
2	470	2000	60
3	510	320	Н.п.
4	290	1150	50

Примечание. Н.п. – ниже порога обнаружения.



4. Сивинцев Ю.В., Высотский В.Л., Данилян В.А. Радиоэкологические последствия радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма // Атомная энергия. 1994. Т. 76, вып.2. С. 158–161.
5. Сивинцев Ю.В. Число делений при аварии 1985 г. на атомной подводной лодке в бухте Чажма // Атомная энергия. 2000. Т. 89, вып. 3. С. 256–264.
6. Соيفер В.Н. Радиоэкология северного шельфа Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 2002. 253 с.
7. Соифер В.Н., Данилян В.А., Малкин С.Д., Чайковская Э.Л. Современный взгляд на радиационное состояние водной среды северной части Японского моря // Вестн. ДВО РАН. 1997. № 4. С. 86–104.
8. Соифер В.Н., Горячев В.А., Сергеев А.Ф. и др. Эволюция радиоактивного загрязнения донных отложений в зоне аварии на атомной подводной лодке в 1985 г. в бухте Чажма Японского моря // Метеорол. и гидрология. 1999. № 1. С. 48–63.
9. Чайковская Э.Л., Высоцкий В.Л. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края // Атомная энергия. 2001. № 91, вып. 3. С. 223–237.
10. Tkalin A.V., Chaykovskaya E.L. Anthropogenic radionuclides in Peter the Great bay // J. Environ. Radioactivity. 2000. N 51. P. 229–238.

#### Поправка

В 5-м номере журнала за 2016 год на с. 52 на титульном листе статьи В.В. Ершова, О.А. Никитенко, Ю.А. Перстневой «Геохимические аспекты миграции подземных флюидов в грязевых вулканах» по технической причине была допущена опечатка – из сноски выпала фраза:

«Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-01768) и ДВО РАН (грант № 15-I-2-087)».