

ATLAS

OF CAESIUM DEPOSITION ON EUROPE
AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT



АТЛАС

ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЕВРОПЫ
ЦЕЗИЕМ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

1998





EUROPEAN COMMISSION

Edith CRESSON

Member of the Commission responsible for
Research, Innovation, Education, Training and Youth

DG XII

Nuclear Fission Safety Programme
(Radiation Protection)

ЕВРОПЕЙСКАЯ КОМИССИЯ

Эдит КРЕССОН

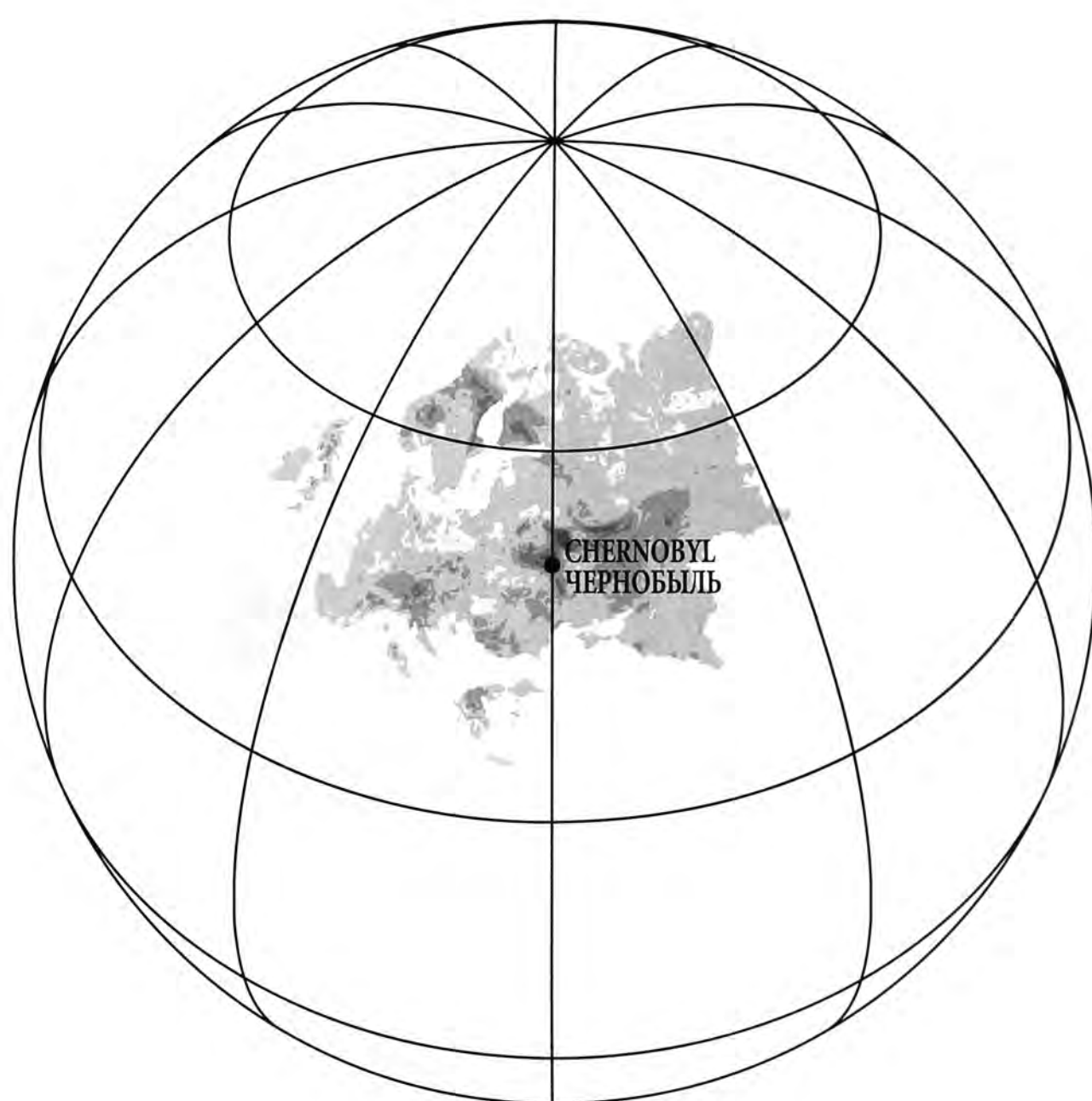
Член Комиссии ответственная за
исследование, образование, подготовку и молодежь

DG XII

Программа безопасности для ядерного расщепления
(Защита против радиации)

ATLAS

OF CAESIUM DEPOSITION ON EUROPE
AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENT



АТЛАС

ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЕВРОПЫ
ЦЕЗИЕМ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

PUBLISHING

Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities 1998

ISBN 92-828-3140-X

Catalogue number CG-NA-16-733-29-C

EUR 16733

EN, RU

© Copyright: ECSC - EEC - EAEC, Brussels - Luxembourg

© Copyright: EC/IGCE, Roshydromet/Minchernobyl (UA)/Belhydromet, 1998

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the following institutions:

Institute of Global Climate and Ecology (IGCE, Moscow, Russia);
Minchernobyl Ukraine (Kiev);
Republic Centre of Radiation and Environment Monitoring (Minsk, Belarus);
European Commission.

LEGAL NOTICE

Neither the European Commission, IGCE, Roshydromet, Minchernobyl (UA) or Belhydromet nor any person acting on their behalf is responsible for the use which might be made of the information contained in this publication

ПУБЛИКАЦИЯ

Люксембургское бюро для официальных изданий европейских сообществ

ISBN 92-828-3140-X

Цифра каталога CG-NA-16-733-29-C

EUR 16733

EN, RU

© Авторские права: Европейское сообщество производителей угля и стали, ЕЭС, Европейская комиссия атомной энергии, Брюссель – Люксембург,

© Авторские права: ЕК/ИГКЭ, Росгидромет/Минчернобыль (Украина)/Белгидромет, 1998

Все авторские права защищены. Ни одна из частей данной публикации не может воспроизводиться в поисковой системе или передаваться в любой форме или любыми средствами: электронными, механическими, фотокопированием, записью или любым другим способом, без предварительного разрешения следующих организаций:

Институт глобального климата и экологии (ИГКЭ, Москва, Россия);
Минчернобыль (Украина, Киев);
Республиканский Центр радиации и мониторинга окружающей среды
(Минск, Беларусь);
Европейская Комиссия.

ПРАВОВОЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Ни Европейская Комиссия, ни ИГКЭ, ни Росгидромет, ни Минчернобыль (Украина), ни Белгидромет, а также никто другой, выступающий от их имени, не несут ответственности за возможное использование данной информации.

Authors

M De Cort ⁽¹⁾, G Dubois ⁽¹⁾, Sh D Fridman ⁽²⁾, M G Germenchuk ⁽³⁾,
Yu A Izrael ⁽²⁾, A Janssens ⁽⁴⁾, A R Jones ⁽¹⁾, G N Kelly ⁽⁵⁾,
E V Kvasnikova ⁽²⁾, I I Matveenko ⁽³⁾, I M Nazarov ⁽²⁾,
Yu M Pokumeiko ⁽³⁾, V A Sitak ⁽⁶⁾, E D Stukin ⁽²⁾, L Ya Tabachny ⁽⁷⁾,
Yu S Tsaturov ⁽⁸⁾, S I Avdyushin ⁽⁸⁾

PROJECT COORDINATION

Scientific Direction

Yu A Izrael ⁽²⁾

Overall Coordination

M De Cort ⁽¹⁾ (EC)

Yu S Tsaturov ⁽⁸⁾ (CIS)

National Coordination

Yu A Izrael ⁽²⁾ (Russia)

I I Matveenko ⁽³⁾ (Belarus)

L Ya Tabachny ⁽⁷⁾ (Ukraine)

EC Coordination

G N Kelly ⁽⁵⁾

Editorial panel

M De Cort ⁽¹⁾, Sh D Fridman ⁽²⁾, Yu A Izrael ⁽²⁾, A R Jones ⁽¹⁾,
G N Kelly ⁽⁵⁾, E V Kvasnikova ⁽²⁾, I I Matveenko ⁽³⁾, I M Nazarov ⁽²⁾,
E D Stukin ⁽²⁾, L Ya Tabachny ⁽⁷⁾, Yu S Tsaturov ⁽⁸⁾

Collection, integration and evaluation of radiological data

M De Cort ⁽¹⁾, G Dubois ⁽¹⁾, Sh D Fridman ⁽²⁾, M G Germenchuk ⁽³⁾,
E V Imshennik ⁽²⁾, E V Kvasnikova ⁽²⁾, E Shpyta ⁽⁶⁾, L Skudnova ⁽⁶⁾,
E D Stukin ⁽²⁾, O M Zhukova ⁽³⁾

Meteorological data and maps

M De Cort ⁽¹⁾, G Dubois ⁽¹⁾, A R Jones ⁽¹⁾, W Klug ⁽⁹⁾, V N Petrov ⁽²⁾

Preparation of the interpolated deposition maps

V Chabanjuk ⁽¹⁰⁾, G Dubois ⁽¹⁾, I. Khomenko ⁽¹⁰⁾, A I. Lelyakin ⁽²⁾, M A Podgaiskaya ⁽³⁾

Preparation of cartographic base maps:

I Bauer ⁽¹⁾, M De Cort ⁽¹⁾, A Dyshlyk ⁽¹¹⁾, A R Jones ⁽¹⁾,
O Olejnyk ⁽¹¹⁾, B Walker ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Environment Institute, EC Joint Research Centre, Ispra, Italy

⁽²⁾ Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia

⁽³⁾ Belhydromet, Ministry of Emergencies, Minsk, Belarus

⁽⁴⁾ European Commission XI/ C/ 1, Luxembourg

⁽⁵⁾ European Commission XII/ P/ 6, Brussels, Belgium

⁽⁶⁾ Derzhkomhydromet, Kiev, Ukraine

⁽⁷⁾ Minchernobyl, Kiev, Ukraine

⁽⁸⁾ Roshydromet, Moscow, Russia

⁽⁹⁾ Institut für Meteorologie, Technische Hochschule Darmstadt, Germany

⁽¹⁰⁾ Intelligent Systems - GEO, Kiev, Ukraine

⁽¹¹⁾ Ukrgeodezcartography, Kiev, Ukraine

Авторы

М. Де Корт ⁽¹⁾, Г. Дюбуа ⁽¹⁾, Ш.Д. Фридман ⁽²⁾, М.Г. Герменчук ⁽³⁾,
Ю.А. Израэль ⁽²⁾, А. ЯнсSENS ⁽⁴⁾, А.Р. Джонес ⁽¹⁾, Г.Н. Келли ⁽⁵⁾,
Е.В. Квасникова ⁽²⁾, И.И. Матвееenko ⁽³⁾, И.М. Назаров ⁽²⁾,
Ю.М. Покумейко ⁽³⁾, В.А. Ситак ⁽⁶⁾, Е.Д. Стукин ⁽²⁾, Л.Я. Табачный ⁽⁷⁾,
Ю.С. Цатуров ⁽⁸⁾, С.И. Авдюшин ⁽⁸⁾

КООРДИНАЦИЯ ПРОЕКТА

Научное руководство

Ю.А. Израэль ⁽²⁾

Общая координация

М. Де Корт ⁽¹⁾ (ЕК)

Ю.С. Цатуров ⁽⁸⁾ (СНГ)

Государственная координация

Ю.А. Израэль ⁽²⁾ (Россия)

И.И. Матвееenko ⁽³⁾ (Беларусь)

Л.Я. Табачный ⁽⁷⁾ (Украина)

Координатор от Европейской Комиссии

Г.Н.Келли ⁽⁵⁾

Редакторская группа

М. Де Корт ⁽¹⁾, Ш.Д. Фридман ⁽²⁾, Ю.А. Израэль ⁽²⁾, А.Р. Джонес ⁽¹⁾,
Г.Н. Келли ⁽⁵⁾, Е.В.Квасникова ⁽²⁾, И.И. Матвееenko ⁽³⁾, И.М. Назаров ⁽²⁾,
Е.Д. Стукин ⁽²⁾, Л.Я. Табачный ⁽⁷⁾, Ю.С. Цатуров ⁽⁸⁾

Сбор, интеграция и оценка радиологических данных

М. Де Корт ⁽¹⁾, Г. Дюбуа ⁽¹⁾, Ш.Д. Фридман ⁽²⁾, Е.В. Имшенник ⁽²⁾,
Е.В. Квасникова ⁽²⁾, М.Г. Герменчук ⁽³⁾, Е.Шпыра ⁽⁶⁾, Л. Скуднова ⁽⁶⁾,
Е.Д. Стукин ⁽²⁾, О.М. Жукова ⁽³⁾

Метеорологические данные и карты

М. Де Корт ⁽¹⁾, Г. Дюбуа ⁽¹⁾, А.Р. Джонес ⁽¹⁾, У. КлуГ ⁽⁹⁾, В.Н.Петров ⁽²⁾

Подготовка интерполированных карт загрязнения

В.Чабанюк ⁽¹⁰⁾, Г.Дюбуа ⁽¹⁾, Л. Хоменко ⁽¹⁰⁾, А.Л. Лесякин ⁽²⁾, М.А. Подгайская ⁽³⁾

Подготовка картографических основ

И. Бауэр ⁽¹⁾, М. Де Корт ⁽¹⁾, А. Дышлых ⁽¹¹⁾, А.Р. Джонес ⁽¹⁾,
О. Олейник ⁽¹¹⁾, Б. Уолкер ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Институт окружающей среды, Объединенный научный центр ЕК, Изпра, Италия

⁽²⁾ Институт глобального климата и экологии, Москва, Россия

⁽³⁾ Белгидромет, Министерство по чрезвычайным ситуациям, Минск, Беларусь

⁽⁴⁾ Европейская Комиссия, XI.C.1, Люксембург

⁽⁵⁾ Европейская Комиссия, XII.Е.6, Брюссель, Бельгия

⁽⁶⁾ Держкомгидромет, Киев, Украина

⁽⁷⁾ Минчернобыль, Киев, Украина

⁽⁸⁾ Росгидромет, Москва, Россия

⁽⁹⁾ Институт Метеорологии, Высшая техническая школа, Дармштадт, Германия

⁽¹⁰⁾ Система разума - ГЕО, Киев, Украина

⁽¹¹⁾ Укргеодезкартография, Киев, Украина

Acknowledgements

This Atlas could not have been produced without the input of data from each of the European countries affected by the accident. Those who provided data and/or acted as nominated national contact points, are listed in Appendix F; their important, indeed essential, inputs and their help in checking the final versions of the maps for their respective countries are gratefully acknowledged. The Atlas was developed under the auspices of an EC/CIS Agreement for International Collaboration on the Consequences of the Chernobyl Accident. Financial support, which is gratefully acknowledged, was provided by the European Commission and the relevant Ministries for Chernobyl Affairs in Belarus, Russia and Ukraine. Within the Commission, funding was provided through a separate budget line established by the European Parliament for Chernobyl activities. The Radiation Protection Research Unit of DG XII was responsible, within the Commission, for managing this collaborative programme. The support of the Radiation Protection Unit in DG XI, which facilitated links with many countries in Central and Eastern Europe and in the European Union, is also acknowledged.

The role and important contribution of the Environment Institute at the Joint Research Centre, Ispra, must also be acknowledged. It was responsible for the development of the GIS platform used to compile the maps from the numerous data sources and for the transfer of this platform and corresponding technology to the collaborating institutes in the former Soviet Union. The existence of the same platform at several institutes will greatly facilitate future collaboration in this area. Mr. Marc Van Liedekerke is acknowledged for informatic support and software developments during the initial phase of the project. Special mention and thanks must be given to Mrs. Adriana Ciceri for her invaluable administrative assistance and secretarial support, in particular in facilitating the missions of many Belarus, Russian and Ukrainian scientists to JRC Ispra.

Sadly, one of the main authors of this report, Professor Fridman, died suddenly as the Atlas was at an advanced stage of preparation. His contribution to the Atlas was considerable and his commitment, attention to detail and professionalism will long be remembered by all who had the pleasure of working with him on this and other projects. It is unfortunate that he was unable to see the finished Atlas of which he would have been proud; it will remain, however, a testimony to his work.

Cartographic Consultant
Lovell Johns Ltd., Oxford, UK

Translation
O V Glushko ⁽²⁾, M Kogan, P Taylor, N Yu Vail ⁽²⁾

Printing
The Edinburgh Press, Edinburgh, UK

Благодарность

Созданный Атлас не был бы подготовлен без данных, представленных каждой страной Европы, пострадавшей от аварии на Чернобыльской АЭС. Списки стран, предоставивших данные, а также лиц, выступивших в роли назначенных государственных координаторов, перечислены в Приложении F. Их вклад и помощь, оказанная при редактировании окончательных вариантов карт по их странам, заслуживают огромной благодарности. Финансовая поддержка проекта, осуществившегося в рамках Соглашения ЕК/СНГ по международному сотрудничеству по оценке последствий Чернобыльской аварии, была предоставлена Европейской Комиссией и соответствующими министерствами, занимающимися проблемами ликвидации последствий Чернобыльской аварии в Беларуси, России и на Украине. Финансирование проекта в рамках Европейской Комиссии осуществлялось за счет отдельных бюджетных ассигнований, выделяемых Европарламентом для изучения последствий Чернобыльской аварии. Отделение исследований в области радиационной защиты Генерального Директората XII несло ответственность в рамках Комиссии за управление совместной программой. Помощь Отделения по радиационной защите Генерального Директората XI, осуществлявшего связи со многими странами Центральной и Восточной Европы и с некоторыми государствами-членами Европейского Союза, также заслуживает благодарности.

Необходимо также с благодарностью отметить огромную роль и важный вклад, сделанный Институтом окружающей среды в Объединенном научном центре (Испра, Италия). Он отвечал за использование инструмента геоинформатики для составления карт на основании многочисленных источников данных, а также за передачу соответствующей технологии принимающим участие в сотрудничестве странам бывшего Советского Союза. Использование аналогичной технологии в нескольких институтах будет в значительной степени способствовать будущему сотрудничеству в этой области. Приносим благодарность г-ну Марку ван Лидекерке за информационную поддержку и разработку программного обеспечения на начальном этапе проекта. Особо следует упомянуть и поблагодарить г-жу Адриану Чичери за неоценимую административную помощь и поддержку, в частности, организацию поездок в Объединенный научный центр специалистов из Беларуси, России и Украины.

Очень горько, что один из главных авторов Атласа, профессор Ш.Д.Фридман, неожиданно скончался, когда работа над Атласом приближалась к своему завершению. Он внес большой вклад в составление Атласа, его высокая ответственность, внимание к малейшим деталям, связанным с работой, а также его профессионализм надолго запомнятся всем, кому посчастливилось с ним работать в рамках этого и других проектов. К сожалению, он не смог увидеть подготовленный Атлас, которым бы он, безусловно, гордился. Атлас будет служить свидетельством его деятельности во многих областях знаний.

Консультант по картографии
Ловелл Джонс Лтд., Оксфорд, Великобритания

Перевод
Н.Ю. Вайль ⁽²⁾, О.В. Глушко ⁽²⁾, М.Коган, П. Тейлор

Печать
Эдинбургское издательство, Эдинбург, Великобритания

Preface

The European Commission and the Ministries responsible for Chernobyl Affairs in Belarus, Russia and Ukraine have carried out a collaborative programme of research on the consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. This programme was implemented during the period 1992-95 under the auspices of a formal Agreement between the Commission and the relevant Ministries in the three countries. Financial support for the programme was provided through a separate budget approved by the European Parliament. Within this programme some 16 separate projects were implemented dealing with the health and environmental consequences of the accident, their long term management and with emergency management in general. The results of this programme have been published in 16 volumes and were presented at a major international conference held in March 1996 in Minsk.

One of the projects was concerned with the preparation of a comprehensive Atlas of the deposition, over the whole territory of Europe, of radioactive material released during the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. Various compilations, of differing resolution and quality, of the deposition in particular countries or regions are available but, prior to this project, no attempt had been made to bring the many data together and develop a coherent and comprehensive picture of the deposition across the whole of Europe. The task in assembling and processing these data has been considerable and those involved with the project are to be commended for what has been achieved. Equally, the Atlas could not have been produced without the input of data from each of the European countries which experienced fallout from the accident; their essential contributions are acknowledged.

The Atlas will be the authoritative reference on this subject for many years to come and it will have wide public and scientific interest. The interest of many will probably not extend much beyond checking for themselves the levels of deposition where they live or might have been around the time of the accident. Others may be interested by the large scale over which material was dispersed and by the very irregular patterns of deposition which are testimony to pollution being no respecter of geographic or national boundaries. The many and diverse data on which the Atlas is based have been compiled in an electronic form and will be an important resource for further scientific work; in particular they will contribute to a better understanding of the complex processes of dispersion and deposition and to the optimisation of environmental monitoring in the event of any future accident.

The Atlas also provides much needed perspective for judging the current radiological significance of the deposition across Europe. This is important generally but particularly so for those continuing to live in areas of the former Soviet Union where the deposition was greatest. Much concern and anxiety continues to be experienced with regard to the potential harm from the residual contamination of the environment. While these concerns are often not commensurate with the actual risks involved, they remain problematic for those affected. Hopefully, the perspective provided by this Atlas will go some way towards allaying such concerns. If so, the Atlas will have a broader social value that is additional to its scientific importance.

The Coordination Board established under an Agreement between the European Commission and Ministries responsible for Chernobyl Affairs in Belarus, Russia and Ukraine on the Consequences of the Chernobyl Accident

I Kenik
Minister, Belarus

E Andreta
Director (XII/F), EC

S Khetagurov
Deputy Minister,
Russia

J Sinnaeve
Head of Unit
(XII/F/6), EC

V Kholosha
Minister, Ukraine

K Chadwick
Head of Sector
(XII/F/6), EC

March 1998

Предисловие

Европейская Комиссия и Министерства Беларуси, России и Украины, ответственные за ликвидацию последствий аварии на Чернобыльской АЭС, осуществили совместную программу изучения последствий этой аварии. Программа осуществлялась в течение 1992-1995 гг. в рамках официального соглашения между Европейской Комиссией и соответствующими Министерствами трех стран. Программа финансировалась за счет специального бюджета, одобренного Европейским Парламентом. В рамках этой программы осуществлялось 16 отдельных проектов по изучению влияния последствий аварии на здоровье человека и окружающую среду, по обеспечению организации их долгосрочного контроля, по организации радиационного мониторинга в случае аварийных ситуаций. Результаты, полученные в рамках этой программы, были опубликованы в 16 томах и представлены на важнейшей по этому вопросу Международной конференции, состоявшейся в Минске в марте 1996 г.

Один из проектов был посвящен подготовке Атласа выпадений на всю территорию Европы радиоактивных продуктов, выброшенных в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Обработка данных и их представление с различным разрешением и качеством проводилась и в прошлом с целью картографирования загрязнения во многих странах или районах, но до этого проекта все многочисленные данные не были сведены воедино и общая карта загрязнения по всей Европе не была получена. Работа по сбору и обработке таких данных была огромной, и все участники проекта заслуживают благодарности за полученные результаты. Нельзя было подготовить Атлас, не имея данных от каждой европейской страны, где имели место выпадения, вызванные аварией; важный вклад этих государств признается с благодарностью.

Атлас будет служить авторитетным источником по исследуемому вопросу в течение многих лет и будет представлять большой интерес для общественности и научного сообщества. Для многих, вероятно, интерес не будет выходить за рамки выяснения уровней загрязнения в местах, где они сами проживают, или где они могли находиться в момент аварии. Других же может заинтересовать неоднородность картины выпадений и широкий масштаб распространения загрязнения, которое не считается с географическими или государственными границами. Многочисленные и разнообразные данные, на основании которых составлялся Атлас, были подготовлены в электронной форме и могут быть использованы в будущем в качестве ценного источника в научной работе, в частности они будут способствовать лучшему пониманию сложных процессов рассеяния и выпадений, оптимизации мониторинга окружающей среды в случае любой возможной аварии.

В перспективе Атлас будет способствовать также пониманию современной радиологической значимости радиоактивного загрязнения Европы. Это важно для всех жителей Европы, и в особенности для тех, кто живет в странах бывшего Советского Союза, где выпадения были максимальными. Большое беспокойство продолжает вызывать потенциальный риск проживания на загрязненных территориях. Эта обеспокоенность часто несоразмерна с действительным риском, но она продолжает существовать и вызывает вопросы у тех, кто подвергается воздействию радиации.Обнадеживающим является то, что грамотная интерпретация данных Атласа в некоторой степени позволит ослабить такое беспокойство. И если это произойдет, то Атлас будет иметь важную социальную значимость, которая дополнит его научную важность.

Координационный Совет учрежден в рамках Соглашения между Европейской Комиссией и министерствами Беларуси, России и Украины, ответственными за ликвидацию последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

И.Кеник
Министр, Беларусь

Е.Андретта
Директор (XII/F), ЕК

С. Хетагуров
Зам.министра,
Россия

Дж.Синнав
Начальник Отделения
(XII/F/6), ЕК

В.Холоша
Министр, Украина

К.Чадуик
Заведующий Сектором
(XII/F/6), ЕК

Марта 1998 г

Contents		Содержание	
Text		Текст	
	Page		Страница
I. General introduction	10	I. Общее введение	10
II. The accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant	11	II. Авария на Чернобыльской атомной электростанции	11
A. Description of the accident	11	A. Описание аварии и выброса радиоактивности	11
B. Response to the accident	13	B. Реакция на аварию	12
III. The deposition of caesium-137 on the territory of Europe	14	III. Загрязнение территории Европы цезием-137	14
A. Introduction	14	A. Введение	14
B. The basic data	14	B. Исходные данные	14
C. Methods used to process the basic data	14	C. Методы обработки исходных данных	14
D. Caesium deposition on a European scale (see Plate 1)	15	D. Загрязнение цезием территории Европы (см. рис. 1)	15
D.1 Deposition prior to the Chernobyl Nuclear Power Plant accident	15	D.1. Загрязнение до Чернобыльской аварии	15
D.2 Deposition after the Chernobyl Nuclear Power Plant accident	16	D.2. Загрязнение после Чернобыльской аварии	16
E. Caesium deposition on a national scale (see Plates 3 to 25)	16	E. Загрязнение цезием территорий государств Европы	
F. Caesium deposition on a local scale (see Plates 27 to 60)	17	(см. рис. 3 до 25)	16
G. The amount of caesium-137 deposited on Europe and its spatial distribution	17	F. Загрязнение цезием отдельных территорий (см. рис. 27 до 60)	17
		G. Количество выпадений цезия-137 в Европе и его пространственное распределение	18
IV. Chernobyl deposits other than caesium-137	19	IV. Выпадения других радионуклидов Чернобыльского происхождения (помимо цезия-137)	19
A. Introduction	19	A. Введение	19
B. Deposition patterns for caesium-134	19	B. Радионуклиды цезия	19
C. Deposition patterns for strontium-90 and plutonium-239, -240	19	C. Выпадения стронция-90 и плутония-239, -240	20
V. The current (ie, 1998) radiological significance of the Chernobyl deposits	20	V. Радиологическая значимость загрязнения в результате Чернобыльской аварии	20
A. Introduction	20	A. Введение	20
B. Natural sources	21	B. Природные источники	21
C. Artificial sources	21	C. Искусственные источники	21
D. Comparison of indicative doses from Chernobyl caesium-137 with other sources of exposure	23	D. Сравнение дозовой нагрузки от цезия-137 чернобыльского происхождения с дозовыми нагрузками от других источников излучения	23
VI. References	24	VI. Библиографические ссылки	24
Appendices	26	Приложения	26
A. The meteorological situation during the accident	26	A. Метеорологическая ситуация во время аварии	26
B. Summary of deposition measuring techniques and data	28	B. Обзор методик изучения загрязнения местности и характеристика использованных данных	28
C. Geographic information systems and their role within the project	31	C. Географические информационные системы и их роль в проекте	31
D. Interpolation procedure applied to the basic data	33	D. Процедура интерполяции применительно к исходным данным	33
E. Interface between deposition and other geographical features	36	E. Связь между радиоактивным загрязнением и некоторыми географическими характеристиками	36
F. National contact points - additional data sources	37	F. Список лиц, предоставивших дополнительную информацию по своим странам	37
G. Data sources - bibliography	38	G. Источники данных - библиография	38
H. List of tables and figures	42	H. Сводка таблиц и рисунков	42
Legend		Условные обозначения	

Contents		Содержание	
Maps		Карты	
European map of caesium-137 deposition	Plate 1	Европейская карта загрязнения цезием-137	Вкладная иллюстрация 1
National/regional maps of caesium-137 deposition		Национальные/областные карты загрязнения цезием-137	
Europe country map index	2	Индекс карт европейских стран	2
Scandinavia North (Norway, Sweden and Finland)	3	Северная Скандинавия (Норвегия, Швеция и Финляндия)	3
Scandinavia South (Norway, Sweden, Finland and Denmark)	4	Южная Скандинавия (Норвегия, Швеция, Финляндия и Дания)	4
Estonia, Latvia and Lithuania	5	Эстония, Латвия и Литва)	5
Eire and United Kingdom	6	Эйре и Великобритания	6
Germany and Switzerland	7	Германия и Швейцария	7
Poland and Russia (Kaliningrad)	8	Польше и Россия (Калининград)	8
Benelux and France	9	Бенелюкс и Франция	9
Czech Republic, Austria and Liechtenstein	10	Чехия, Австрия и Лихтенштейн	10
Hungary and Slovak Republic	11	Венгрия и Словакия	11
Spain	12	Испания	12
Italy, Slovenia and Croatia	13	Италия, Словения и Хорватия	13
Romania and Moldova	14	Румыния и Молдова	14
Greece and European Turkey	15	Греция и Европейская Турция	15
Voronoi polygons: Belarus	16	Полигоны Вороного: Беларусь	16
Belarus	17	Беларусь	17
Voronoi polygons: Ukraine	18	Полигоны Вороного: Украина	18
Ukraine	19	Украина	19
Sampling points map: Russia	20	Карта точек оразца: Россия	20
Russia (north-west of European territory)	21	Россия (северо-западная часть европейской территории)	21
Russia (northern part of European territory)	22	Россия (северная часть европейской территории)	22
Russia (central part of European territory)	23	Россия (центральная часть европейской территории)	23
Russia (eastern part of European territory and southern Urals)	24	Россия (восточная часть европейской территории и южный Урал)	24
Russia (southern part of European territory)	25	Россия (южная часть европейской территории)	25
Local scale maps: areas of higher caesium-137 deposition		Карты в местном масштабе: участки высшего загрязнения цезием-137	
Europe map index for areas of higher deposition	26	Индекс карт для участках высшего загрязнения	26
Norway	27	Норвегия	27
Sweden 1	28	Швеция 1	28
Sweden 2	29	Швеция 2	29
Sweden 3	30	Швеция 3	30
Sweden 4	31	Швеция 4	31
Finland 1	32	Финляндия 1	32
Finland 2	33	Финляндия 2	33
United Kingdom	34	Великобритания	34
Czech Republic, Poland and Slovak Republic	35	Чехия, Польше и Словакия	35
The Alps 1 (Italy and Switzerland)	36	Альпы 1 (Италия и Швейцария)	36
The Alps 2 (Austria and Germany)	37	Альпы 2 (Австрия и Германия)	37
The Alps 3 (Austria, Italy and Slovenia)	38	Альпы 3 (Австрия, Италия и Словения)	38
Romania	39	Румыния	39
Greece	40	Греция	40
Russia 1	41	Россия1	41
Russia 2	42	Россия 2	42
Russia 3	43	Россия 3	43
Belarus 1	44	Беларусь 1	44
Belarus 2	45	Беларусь 2	45
Russia 4	46	Россия 4	46
Russia 5	47	Россия 5	47
Russia 6	48	Россия 6	48
Belarus and Ukraine 1	49	Беларусь и Украина 1	49
Belarus, Russia and Ukraine	50	Беларусь, Россия и Украина	50
Russia and Ukraine 1	51	Россия и Украина 1	51
Russia 7	52	Россия 7	52
Belarus and Ukraine 2	53	Беларусь и Украина 2	53
Belarus and Ukraine 3	54	Беларусь и Украина 3	54
Russia and Ukraine 2	55	Россия и Украина 2	55
Ukraine 1	56	Украина 1	56
Ukraine 2	57	Украина 2	57
Local scale maps: areas of highest caesium-137 deposition		Карты в местном масштабе: участки самого высшего загрязнения цезием-137	
Briansk Gomel’-Mogilev 1	58	Брянск Гомель-Могилев 1	58
Briansk Gomel’-Mogilev 2	59	Брянск Гомель-Могилев 2	59
Chernobyl zone	60	Чернобыльская зона	60
Daily meteorology maps		Ежедневные метеорологические карты	
26 April - 29 April 1986	61	26 апреля - 29 апреля 1986 г.	61
30 April - 3 May 1986	62	30 апреля - 3 мая 1986 г.	62
4 May - 7 May 1986	63	4 мая - 7 мая 1986 г.	63
8 May - 11 May 1986	64	8 мая - 11 мая 1986 г.	64
Demographic and geographic features of Europe	65	Демографические и географические особенности Европы	65

I. General introduction

This Atlas was prepared under the auspices of the EC/CIS collaborative programme of research on the consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant (CNPP) accident. Various institutes in Belarus, the Russia, Ukraine and the European Union (EU) participated in the development of the Atlas through one of the projects (Joint Study Project No. 6) carried out within the collaborative programme. Extensive data on the deposition of radioactive material on Europe resulting from the CNPP accident have been collected and validated: these data have been transformed into maps of deposited material using advanced interpolation techniques and a geographical information system. The resulting Atlas is unique in providing a coherent and comprehensive picture of deposition across the whole of Europe and will, for many years to come, be the authoritative reference on this subject.

A wide spectrum of radionuclides was released to the environment during the CNPP accident and deposited over Europe. Few of these radionuclides, however, contributed significantly to the overall radiological impact from deposited material; iodine radionuclides were most important in the short term (ie, a few weeks) and caesium radionuclides in the medium and long term (ie, from a few months onwards). The radiological importance of a given nuclide depends on the amount released in the accident, its radiation characteristics and how effectively it is transferred through the environment to man. Iodine and caesium are volatile elements (at typical reactor operating temperatures) and substantial fractions of each were released during the CNPP accident; moreover, both are readily transferred through the environment and metabolised by man. This Atlas is concerned solely with those deposited nuclides which have largely determined, and continue to determine, the medium and longer term impacts (ie, from a few months onwards) of the accident. The focus of the Atlas is, therefore, the deposition of caesium radionuclides, in particular caesium-137 and, to a lesser extent, caesium-134. Consideration is also given to the deposition of radionuclides of strontium and plutonium. While the radiological significance of these nuclides is small in comparison with that of caesium radionuclides, they are often the focus of public interest and are included here for perspective and completeness. The maps of deposited strontium and plutonium are, however, not presented for Europe as a whole but limited to smaller areas where most of these elements were deposited.

The main text (Sections I to VI) describes the structure and content of the Atlas and provides perspective to enable readers to assess for themselves the radiological significance of residual levels of deposition. Following the general introduction, the remaining sections contain:

- A description of, and responses to, the Chernobyl Nuclear Power Plant accident;
- A description of the measured data on caesium-137 deposition and how these data were used to compile maps of deposition and to estimate the total amount of caesium-137 deposited over Europe together with its distribution between countries;
- Information on the deposition of other nuclides (namely, caesium-134, strontium-90 and plutonium -239 and -240);
- Information to enable the reader to judge the radiological significance of the current levels of deposited caesium-137 (ie, indicative levels of annual radiation doses from current deposits and how these compare with other sources (natural and artificial) of exposure of the population).

The maps of caesium-137 deposition comprise the bulk of the Atlas. They are presented at three different levels or scales:

- European - deposition over Europe as a whole;
- National or Regional - deposition over individual countries or regions;
- Smaller Areas - deposition over more limited areas that experienced higher levels of deposition.

In addition maps are provided of:

- The meteorological situation during the accident;
- Relevant geographic and demographic features of Europe.

The legend describing all cartographic symbols and radiological information used throughout the Atlas is located at the beginning of the Maps section.

The Atlas contains eight Appendices which are likely to be of interest to the more specialist reader. They address each of the topics listed below and are intended to provide a fuller understanding of how the measurements were made, how they were used to compile the maps and of various phenomena which may have influenced the pattern of deposition:

- The meteorological situation during the accident (Appendix A);
- A summary of the various deposition measurement techniques and of caesium-137 deposition data used (Appendix B);
- A summary of the data handling techniques used (Appendices C and D);
- Reference maps on population density, land use, soil type and elevation (Appendix E);
- Additional information on data providers and data sources (Appendices F and G);
- List of tables and figures (Appendix H).

I. Общее введение

Атлас подготовлен в рамках программы сотрудничества КЕС/СНГ, посвященной изучению последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Различные организации Беларуси, Россия, Украины, а также Европейского Сообщества (ЕС) принимали участие в подготовке Атласа, выполняя проект (Проект совместных исследований №6) в рамках программы сотрудничества. Был проведен сбор и оценка обширных данных о радиоактивных выпадениях в Европе в результате Чернобыльской аварии. Эти данные положены в основу карт, построенных с использованием современных методик интерполяции и географических информационных систем. Материал, представленный в этом Атласе - наиболее полная и уникальная информация о загрязнении Европы в целом; он останется авторитетным источником по данной проблеме на долгие годы.

Во время Чернобыльской аварии произошел выброс большого числа радионуклидов в окружающую среду. Некоторые из них внесли значительный вклад в суммарные радиологические дозовые нагрузки от выпавшего радиоактивного материала. В начальный период аварии (несколько недель) наибольшее значение имели радионуклиды йода, а в более длительной перспективе (несколько месяцев и более) - радионуклиды цезия. Радиологическая значимость радионуклидов определяется их количеством, выброшенным в окружающую среду в результате аварии, их радиационными характеристиками и скоростью попадания в организм человека из окружающей среды. Йод и цезий относятся к летучим элементам (при штатных температурах работы реактора), и во время аварии они были выброшены в значительных количествах. Более того, оба эти радионуклида подвижны в окружающей среде и легко включаются в пути метаболизма человека. Особую важность представляют те радионуклиды, которые в основном определяли и продолжают определять средние по длительности и длительные (несколько месяцев и дольше) последствия аварии. Исходя из этого, Атлас было решено посвятить загрязнению радионуклидами цезия, в особенности, цезием-137 и в несколько меньшей степени - цезием-134. Также рассматривается загрязнение радионуклидами стронция и плутония; хотя их радиологическая значимость после Чернобыльской аварии мала по сравнению с цезием, они часто вызывают интерес и включены в Атлас для более полного освещения проблемы. Карты загрязнения стронцием и плутонием не показаны для Европы в целом, а приводятся только для небольших территорий, загрязненных этими радионуклидами.

В основном тексте (разделы I-VI) описывается структура и содержание Атласа, а также дается возможность читателю самостоятельно оценить радиологическую значимость современных уровней загрязнения. За общим введением следуют разделы:

- описание аварии на Чернобыльской АЭС и реакция на нее;
- описание измеренных уровней загрязнения цезием-137, каким образом эти данные использовались для построения карт загрязнения и оценки суммарного количества цезия-137, выпавшего на всей территории Европы, а также его распределение по странам;
- сведения о загрязнении другими радионуклидами (цезием-134, стронцием-90, плутонием-239,240);
- данные, позволяющие читателю сделать выводы о радиологической значимости современных уровней загрязнения цезием-137 (т.е. индикативные уровни годовых доз радиации от современного уровня загрязнения и их сравнение с другими источниками (естественными и искусственными) облучения населения).

Карты загрязнения цезием-137 представляют собой основную часть атласа. Карты объединяются в три подраздела в зависимости от масштаба:

- Европа - загрязнение Европы в целом;
- страны и регионы - загрязнение территорий отдельных государств и регионов Европы;
- отдельные районы - карты отдельных районов с повышенными уровнями загрязнения.

Более того, карты объединяются:

- о метеорологической ситуации во время аварии;
- о релевантных географических и демографических характеристиках Европы.

В легенде отражены все картографические символы и радиологическая информация, используемая в Атласе. Они находятся в начале картографической части.

И, наконец, Приложения, которые, возможно, заинтересуют более подготовленного читателя. Они затрагивают перечисленные ниже темы и должны способствовать более полному пониманию того, как проводились измерения, как их результаты использовались для составления карт; также приводится описание различных явлений, которые могли повлиять на формирование пятен загрязнения:

- метеорологическая ситуация во время выброса в атмосферу (Приложение А);
- краткая информация об использовавшихся методиках измерений загрязнения цезием-137 (Приложение В);
- обзор методик построения карт по собранным данным (Приложения С и D);
- справочные карты - плотности населения, землепользования, почв, гипсометрическая (Приложение Е);
- дополнительные сведения об источниках информации и лицах, ее предоставивших (Приложения F и G);
- список таблиц и рисунков (Приложение H).

II. The accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant

A. Description of the accident

At the beginning of 1986 some 14 RBMK pressure tube reactors were being operated in the former Soviet Union; each had a capacity to generate 1,000 MW of electricity. Four of these reactors were in operation at the CNPP which is located in northern Ukraine, some 130 km north-east of Kiev and 18 km north of the town of Chernobyl. The borders of Belarus and Russia are about 12 and 140 km from the power plant, respectively.

The reactor unit No 4 at the CNPP began operation in December 1983 and was destroyed in a major accident on 26 April, 1986. The accident resulted in the release to the atmosphere of a substantial fraction of the more volatile contents of the reactor core. The magnitude of the release far exceeded that of previous accidents at nuclear reactors (ie, Windscale, UK in 1957 and Three Mile Island, USA in 1979) and also that in the accident at the industrial complex "Mayak", USSR in 1957 [1].

Figure II.1: The damaged reactor
Рис. II.1: Разрушенный реактор



Based on the results of numerous investigations (eg. [2-5]) there is now general agreement that the main cause of the accident was deficiencies in the design of the reactor; these were compounded by errors made by the operators including serious breaches of the safety rules. As a consequence of these design deficiencies and operator errors, a large and almost instantaneous increase occurred in the reactor power at 01:23 h (Moscow time) on the 26 April, 1986. Two subsequent steam explosions destroyed the reactor, the reactor building and the machine room. The upper reactor cover, weighing 2000 tonnes, was displaced to the upper part of the reactor well at an angle of 15° with the vertical and the reactor core, *per se*, (fuel, graphite, moderator, etc) was ejected from the well mainly to the reactor room [6]. Concrete, graphite and debris heated to very high temperatures escaped through a hole in the roof of the building leaving the reactor core exposed to the environment. Flames and ejected material spread fire to 30 locations around the adjacent reactor (Unit No 3) and turbine buildings [6].

The two thermal explosions were the cause of the initial release of radioactive material to the atmosphere, in the form of a cloud several kilometres high that was subsequently dispersed in the form of a plume. This release was both large and energetic and resulted in some of the material penetrating, and being dispersed above, the atmospheric boundary layer (approximately 1200 m) [7]. The exposed reactor core and, in particular, the subsequent burning of the graphite moderator were a source of continuing release of large amounts of radioactive material (in the form of gases, aerosols and particulates) to the atmosphere. The fire in the graphite moderator, which was maintained by the substantial amount of energy released from the decay of fission products in the residual core material, was eventually stopped after ten days and resulted in a large decrease in the amount of radioactive material being released to the atmosphere.

Over this ten day period, due to the changing wind direction, the released material was widely dispersed and deposited across much of Europe. The largest amounts of material were deposited in Belarus, Ukraine and Russia but deposition occurred in most countries within Europe, albeit generally at appreciably lower levels. Some of the material was dispersed throughout the Northern hemisphere and was detected as far away as Japan and the United States, but at very low levels.

The radiological situation in the former Soviet Union was investigated by ten aircraft and helicopters equipped with dose rate meters and gamma spectrometers. Air and soil samples were analysed in chemical laboratories. The amount of radioactive material deposited over the European territory of the former Soviet Union by 5 May amounted to about 3.5% of the total radioactive content of reactor core. The release of different elements varied according to their volatility; a few tens of percent of the more volatile elements (eg, iodine) were released whereas the release of the more refractory elements (eg, plutonium) was, at most, a few percent [6-8]. The radioactive material deposited on soil comprised a very large number of different radionuclides created in the fission process or by activation of reactor materials. Some of the more radiologically significant radionuclides that were measured in the immediate aftermath of the accident include: zirconium-95, niobium-95, molybdenum-99, ruthenium-103, ruthenium-106, tellurium-132, iodine-131, iodine-132, barium-140, lanthanum-140, cerium-141, cerium-144, caesium-134, caesium-137, neptunium-239, etc. [8]. Transuranic radionuclides, plutonium-238, -239 and -240 were also measured in soil samples and subsequently americium-241 and curium-242 and -244 [7]. The composition of the deposited radionuclides varies with direction from the reactor reflecting, *inter alia*, the changing composition of released material as the accident progressed.

II. Авария на Чернобыльской атомной электростанции

A. Описание аварии и выброса радиоактивности

В начале 1986 г. в Советском Союзе работало 14 реакторов типа РБМК электрической мощностью 1000 Мвт каждый. Четыре реактора такого типа работало на ЧАЭС, расположенной на севере Украины, в 130 км на северо-восток от Киева и в 18 км к северу от г.Чернобыль. Границы Беларуси и России расположены соответственно в 12 и 140 км от электростанции.

Пуск четвертого блока ЧАЭС состоялся в декабре 1983 г., а 26 апреля 1986 г. он был разрушен в результате тяжелой аварии. Авария привела к выбросу из развала реактора в атмосферу значительного количества главным образом летучих радиоактивных веществ. Величина выброса намного превзошла выбросы от предыдущих аварий атомных реакторов: в Уиндскейле (Великобритания, 1957 г.), Три Майл Айленде (США, 1979 г.), на промышленном комплексе «Маяк» (СССР, 1957 г.) [1].

По итогам многочисленных исследований [2-5] сложилось устойчивое мнение, что главными причинами аварии были: определенное несовершенство конструкции реактора; ошибки, допущенные операторами, включая нарушения правил безопасности. В результате стечения этих обстоятельств в 01 ч. 23 мин. 40 с. 26 апреля 1986 г. (время московское) началось катастрофически быстрое увеличение мощности реактора. Два последовавших за этим тепловых взрыва привели к разрушению реактора, реакторного блока и машинного зала. При этом верхняя крышка реактора весом около 2000 т оказалась на верхней части шахты реактора под углом 15° к вертикали, а сама активная зона (тепловыделяющие сборки и графитовая кладка) выброшена из шахты, в основном, в реакторный зал [6]. Раскаленные обломки бетона и графита проникали наружу через отверстие в крыше здания, при этом из активной зоны реактора происходил выброс радионуклидов в окружающую среду. Выброс горящих обломков и языков пламени привел к возникновению еще 30 очагов пожара вокруг соседнего реактора (3-го блока) и турбинных блоков [6].

Два тепловых взрыва послужили причиной начального выброса радиоактивности в атмосферу - вначале в форме облака, распространявшегося на высоте в несколько километров, затем рассеивающая в форме струи. Мощный в количественном и энергетическом отношении выброс привел к попаданию в приземный слой атмосферы и рассеиванию в ней радиоактивных продуктов; на начальных стадиях аварии радиоактивная струя поднималась до высоты более 1200 м [7]. Сохранение открытой активной зоны реактора и, в особенности, продолжающийся пожар графитовой кладки поддерживали выброс в атмосферу больших количеств радиоактивных продуктов в виде газов, аэрозолей и макрочастиц. Пожар графитовой кладки, поддерживаемый значительной энергией, выделявшейся при продолжавшемся распаде радионуклидов, накопившихся за кампанию реактора, закончился через 10 дней. Ликвидация пожара привела к значительному уменьшению выброса радиоактивности в атмосферу.

Figure II.2: Construction of the sarcophagus
Рис. II.2: Сооружение саркофага

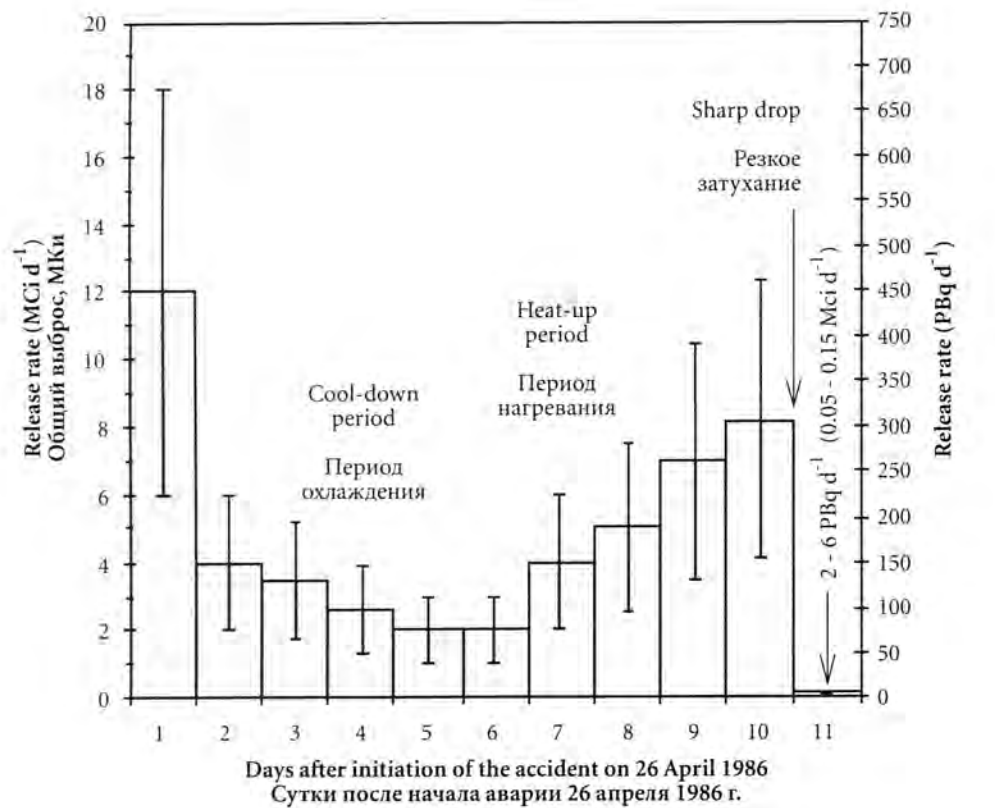


В течение первых десяти суток выброшенный в атмосферу материал в форме струи, непрерывно менявшей свое исходное направление, следуя направлению ветра, широко распространился над территорией большей части Европы. Наиболее интенсивными были его выпадения на территории Беларуси, Украины и Россия, однако, выпадения имели место в большинстве стран Европы, хотя, в целом, уровни загрязнения там ощутимо ниже. Некоторое количество радионуклидов было рассеяно по всему северному полушарию; в очень малых количествах они были обнаружены даже в Японии и Соединенных Штатах.

Радиационная обстановка в бывшем СССР изучалась с использованием 10 вертолетов и самолетов, оборудованных рентгенометрической и гамма-спектрометрической аппаратурой. В химических лабораториях анализировались пробы почв и воздуха. Количество радиоактивного материала, выпавшего на территории европейской части бывшего Советского Союза к 5 мая 1986 г. оценивается примерно в 3,5% суммарной радиоактивности из активной зоны реактора. Выброс различных элементов определялся их летучестью; выброс наиболее летучих

Estimates [11-13] of the total release of the more radiologically significant radionuclides are summarised in Table II.1 and the temporal pattern of the overall release of radioactive material is illustrated in Figure II.3. In the very early stages of the accident the short lived radionuclides were, radiologically, the most important. In the following days and weeks radionuclides of iodine (and especially iodine-131) were the main source of both internal and external exposure. The radiological significance of caesium radionuclides was initially small (ie, contributing only about 10% of the total external dose within the first year) but their importance increased with time, becoming by far the most important (for both internal and external exposure) one year after the accident, especially at larger distances.

Figure II.3: Daily release rate (and ± 50% error bars) of radioactive material into the atmosphere [14,15]
Рисунок II.3: Ежедневный выброс радиоактивного материала в атмосферу (с ± 50% погрешностью) [14,15]



Radioactive material released in the form of debris was deposited in close proximity to the damaged reactor. That released in the form of particulates of relatively large size (eg, fuel particles and the more refractory elements) was largely deposited within a few tens of kilometres of the reactor. The more volatile elements and those released largely in the form of fine particulates or aerosols (eg, iodine, tellurium and caesium) were dispersed and deposited over many hundreds and thousands of kilometres from the source of the release.

The meteorological situation during the release of radioactive material was complex, and is described further in Appendix A. Because of the long duration of the release and the changing meteorological conditions during this period, the released material was dispersed in many different directions; consequently, material was effectively dispersed over, and deposited on, most of the territory of Europe. Changing meteorological conditions during the dispersion of released material (eg, slowing down or speeding up of the of the wind, rainfall, etc) also greatly affected the

Table II.1: Core inventory and some estimates of the total release of the more significant radionuclides during the CNPP accident (taken largely from [16])
Таблица II.1: Радионуклиды, накопленные в активной зоне реактора к моменту аварии, и некоторые оценки суммарного выброса наиболее значимых радионуклидов во время аварии на ЧАЭС (в основном, по [16])

Element group Группа элементов	Radionuclide Радионуклид	Half-life Период полураспада	Core inventory in PBq (MCi) Активность, накопленная в реакторе к моменту аварии, ПБк (МКи) [10,14]	Estimate of the total release of the specific radionuclide during the accident in PBq (MCi) ⁽¹⁾ Оценка выброса за время аварии, ПБк (МКи) ⁽¹⁾	
				[11]	[12,13]
Inert gases Инертные газы	¹³³ Xe	5.3 d (дн.)	6500 (180)	6500 (180)	6500 (180)
Volatile elements Летучие элементы	¹³¹ I	8.04d (дн.)	3200 (87)	≈ 1800 (48)	1200 - 1700 (32 - 46)
	¹³² Te	3.26 d (дн.)	2700 (73)	≈ 1200 (31)	1000 (27)
	¹³⁴ Cs	2.06 a (г.)	180 (4.9)	≈ 54 (1.5)	44 - 48 (1.2 - 1.3)
	¹³⁷ Cs	30.1 a (г.)	280 (7.6)	≈ 85 (2.3)	74 - 85 (2 - 2.3)
Elements with intermediate volatility Промежуточные элементы	⁸⁹ Sr	50.6 d (дн.)	2300 (62)	≈ 120 (3.1)	81 (2.2)
	⁹⁰ Sr	28.5 a (лет)	200 (5.4)	≈ 10 (0.27)	8 (0.22)
	¹⁰³ Ru	39.4 d (дн.)	4800 (130)	> 170 (4.5)	170 (4.6)
	¹⁰⁶ Ru	367 d (дн.)	2100 (57)	> 73 (2.0)	30 (0.81)
	¹⁴⁰ Ba	12.8 d (дн.)	4800 (130)	≈ 240 (6.4)	170 (4.6)
Refractory elements Тугоплавкие элементы	⁹⁵ Zr	64.0 d (дн.)	5600 (150)	200 (5.3)	170 (4.6)
	⁹⁹ Mo	2.75 d (дн.)	4800 (130)	> 170 (4.5)	210 (5.7)
	¹⁴¹ Ce	32.5 d (дн.)	5600 (150)	196 (5.3)	200 (5.4)
	¹⁴⁴ Ce	284 d (дн.)	3300 (89)	≈ 120 (3.1)	140 (3.8)
	²³⁸ Pu	86.4 a (г.)	1 (0.027)	0.035 (0.001)	0.03 (0.001)
	²³⁹ Pu	24100 a (лет)	0.85 (0.032)	0.03 (0.001)	0.03 (0.001)
	²⁴⁰ Pu	6553 a (г.)	1.2 (0.023)	0.042 (0.001)	0.044 (0.001)
	²⁴¹ Pu	14.7 a (г.)	170 (4.6)	≈ 6 (0.16)	5.9 (0.16)
	²⁴² Cm	162.8 d (дн.)	26 (0.70)	≈ 0.9 (0.024)	0.93 (0.025)

⁽¹⁾ See also section III.G
⁽¹⁾ Также обращаем внимание читателя на Раздел III.G

элементов составил десятки процентов (например, иода), в то время как выброс наиболее тугоплавких элементов (например, плутония) составил не более нескольких процентов [6-8]. Радиоактивные выпадения на местность были представлены большим количеством различных радионуклидов, образовавшихся в процессе деления или активации вещества реактора. К некоторым из наиболее значимых в радиологическом отношении веществ, измерения содержания которых проводились непосредственно после аварии, относятся: цирконий-95, ниобий-95, молибден-99, рутений-103, рутений-106, теллур-132, иод-131, иод-132, барий-140, лантан-140, церий-141, церий-144, цезий-134, цезий-137, нептуний-239 и т.д. [8]. В пробах почвы определялось содержание трансурановых радионуклидов - плутония-238, плутония - 239,240, а также америция-241 и кюрия-242 и -244 [7]. Состав радионуклидного загрязнения изменяется в зависимости от направления от реактора, отражая изменения в составе выброса по мере развития аварии. Оценка [11-13] суммарного выброса наиболее значимых в радиологическом отношении радионуклидов приводится в таблице II.1. На рисунке II.3 показан общий выброс радиоактивного материала во времени. На ранних стадиях аварии наибольшей радиологической значимостью обладали короткоживущие радионуклиды. В последующие дни и недели основным источником внутреннего и внешнего облучения стали радионуклиды иода (в особенности, иод-131). Первоначально радиологическое значение радионуклидов цезия было невелико (в течение первого года после аварии они давали всего лишь около 10% общей дозы внешнего облучения). Но со временем их значение возросло: через год после аварии эти радионуклиды стали важнейшими в формировании как внешней, так и внутренней дозы облучения, особенно, на большом удалении от места аварии.

Радиоактивный материал в виде обломков выпал в непосредственной близости от разрушенного реактора. Материал, выброшенный в виде микрочастиц относительно крупного размера (например, частиц топлива и наиболее тугоплавких элементов) выпал, в основном, на расстоянии нескольких десятков километров от реактора. Наиболее летучие элементы и элементы, выброшенные, в основном, в виде мелко-дисперсных частиц и аэрозолей (например, иод, теллур и цезий), распространились на многие сотни и тысячи километров от источника выброса.

Метеорологическая ситуация во время радиоактивного выброса была сложной. Описание ситуации приводится в Приложении А. Поскольку выброс был длителен, а метеорологические условия во время выброса были изменчивы, радиоактивный материал распространился в различных направлениях и впоследствии выпал на большей части территории Европы. Выпадения были весьма неравномерны, поскольку подверглись большому влиянию изменяющихся метеорологических условий в период выброса (например, уменьшения и увеличения скорости ветра, дожди и т.д.). Измерения и оценки уровней содержания радионуклидов в природных средах и дозовых нагрузок начались с первых дней аварии и продолжаются до настоящего времени, хотя и с меньшей интенсивностью. Эти измерения определяют природу и степень содержания радионуклидов в окружающей среде и дают существенную информацию для принятия управленческих решений по отдаленным последствиям аварии. Радиоактивный выброс вышел за пределы территории бывшего Советского Союза примерно сутки спустя после начала аварии и был зафиксирован в большинстве стран Европы.

В. Реакция на аварию

Реакция на аварию на близлежащих территориях была быстрой. Въезд в город Припять, располагающийся в 4 км от места аварии, был закрыт через несколько часов, и людей проинструктировали, как защитить двери и окна. Добровольцы обходили дома и обеспечивали жителей таблетками стабильного иода. 27 апреля (начиная с 14.00) город Припять (44,5 тыс. жителей) был эвакуирован при помощи 1200 автобусов, 1700 личных автомобилей и 3 специализированных железнодорожных поездов. В первые дни было также эвакуировано население из ближней (в радиусе 10 км) зоны ЧАЭС [4]. 2-ого мая было принято решение Правительственной Комиссии, основанное на подготовленной к этому времени карте радиационной обстановки в зоне радиусом 100 км вокруг ЧАЭС: зона эвакуации населения была определена радиусом 30 км вокруг ЧАЭС, к ней же была отнесена территория вне этой зоны, где доза облучения превышала 50 (Зв/час (5 мР/час) в пересчете на 10 мая 1986 г. Отселение началось с 3 мая. До конца 1986 г. из 188 населенных пунктов (включая г. Припять) всего было отселено 116 тыс. чел. Одновременно из этой зоны

nature and extent of radioactive material in the environment and provided essential information patterns of deposition which were very uneven. Measurements and assessments of the levels of radionuclides in the environment and dose rates were made from the very beginning of the accident and continue, albeit at lower frequencies, to this day. These measurements delineated the for managing the off-site consequences of the accident. Released material was dispersed beyond the borders of the former Soviet Union within about a day of the accident occurring and was detected subsequently in most European countries.

B. Response to the accident

The off-site response to the accident locally was rapid. The town of Prypiat, some 4 km away, was closed within a few hours and people instructed to shelter indoors. Iodine tablets were subsequently distributed by volunteers from home to home. The town of Prypiat (44,500 inhabitants) was evacuated by 14:00h on 27 April (by means of some 1,200 buses, 1,700 private cars, and 3 special railway trains). The rest of the population within a radius of 10 km of the CNPP was also evacuated progressively within a few days [4]. On 2 May, the Governmental Commission passed a Resolution based on a map of the radiation situation within 100 km of the CNPP. The evacuation zone was defined as an area within a radius of 30 km around the plant plus other areas where the dose rate exceeded 50 µSv h⁻¹ (5 mrem h⁻¹) (normalised to 10 May, 1986). The evacuation of the population from this zone began on 3 May. By the end of 1986 inhabitants from 188 settlements (including the town of Prypiat) had been evacuated, in total some 116,000 people. Simultaneously about 60,000 cattle and other farm animals were evacuated from the zone. Thousands of apartments were made available in Kiev, Zhitomir, Chernigov and in other towns to house the evacuees; in addition, 21,000 new buildings were constructed in 1986 in rural areas for the same purpose [4].

During the evacuation of the 30 km zone, various preventative and decontamination measures were taken (particular attention was given to the decontamination of cars, roads and road sides). To prevent high levels of radionuclides being transferred to rivers feeding the Kiev reservoir, some 140 dams and dikes were constructed and the banks of all rivers close to the CNPP were diked. The underground space below the NPP site was contained by a “wall in the ground” with a depth of 29-32 m (the impermeable clay layer) and a length of 2.3 km to prevent the flow of contaminated water into the Prypiat river and subsequently into the Dnieper river. To protect underground water against contamination and to prevent the flow of contaminated water from the cooling pond to the Prypiat river, various underground drainage systems, several tens of kilometres in length (including wells), were constructed.

Various criteria were established by the Soviet authorities, based on input from a wide range of leading specialists in the fields of radiation medicine, nuclear geophysics and agricultural radiology, to manage the consequences of the accident in its initial and later phases. These criteria and their evolution are described in [17,18]. Among the more significant criteria adopted in the early phase were the following dose rates (normalised to 10 May) for the total exclusion or prohibited zone (>200 µSv h⁻¹ (>20 mrem h⁻¹)), for evacuation of the whole population (>50 µSv h⁻¹ (>5 mrem h⁻¹)) and for partial evacuation (30 - 50 µSv h⁻¹ (3-5 mrem h⁻¹)). On 10 May, 1986, the extent of the exclusion and evacuation zones were 1,100 km² and 2,940 km², respectively. The area of the former Soviet Union contaminated at levels above 2 µSv h⁻¹ (0.2 mrem h⁻¹) was about 50,000 km² [8]. In May 1986, criteria were established, *inter alia*, in terms of ground contamination by long-lived radionuclides, in particular for caesium-137 (555 kBq m⁻² (15 Ci km⁻²) - initially a value of 7 Ci km⁻² was adopted), for strontium-90 (111 kBq m⁻² (3 Ci km⁻²)) and for plutonium-239 and 240 (3.7 kBq m⁻² (0.1 Ci km⁻²)) [17]. The criteria (eg, limits on annual and lifetime doses, ground contamination, concentrations of nuclides in foodstuffs, etc) evolved over time, generally becoming more restrictive [4,18]. The criteria summarised in Table II.2 were established by the former Soviet Union to manage the affected territories; they were subsequently adopted in Belarus, Russia and Ukraine, albeit with some refinement over time in how they are implemented. These criteria are also used as the basis for payment of compensation to those continuing to live in these areas.

Table II.2: Definition of the various zones used to control exposures
Таблица II.2: Зоны контроля за облучением населения

Zone Зона	Caesium-137 deposition Загрязнение цезием-137	
	(kBq m ⁻²) (кБк/ кв. м)	(Ci km ⁻²) (Ки/кв. км)
Occasional control Зона периодического контроля	37 - 555	1 - 15
Permanent control Зона постоянного контроля	555 - 1480	15 - 40
Strict control Зона жесткого контроля	> 1480	> 40

In the very early stages of the accident the main sources of radiation exposure were inhalation of, and external radiation from, the passing cloud of radioactive material. Inhalation of iodine radionuclides, (eg, iodine-131 and iodine-133), which result in the exposure of the thyroid, was one of the more important exposure pathways initially; exposure via this pathway was, for some people, mitigated by the timely issue of stable iodine tablets. Ingestion of iodine in contaminated foodstuffs (especially milk) proved to be a major source of exposure in those areas where restrictions on foodstuffs were delayed. High doses were received by many children among whom a large excess of thyroid cancers is currently being observed (more than one thousand cases to date). Several months after the accident, deposited caesium-134 and -137 became the major sources of exposure of the population; with time the importance of caesium-137 relative to caesium-134 increased, due to its greater half-life, and it now largely determines the overall levels of exposure, both internal and external. The contribution of other nuclides (eg, strontium-90 and plutonium-239 and -240) to the exposure of the population in the medium and longer term is, especially beyond the evacuation zone, small by comparison (ie, at most a few percent of that from caesium-137

выведено 60 тыс. голов крупного рогатого скота и других сельскохозяйственных животных. В Киеве, Житомире, Чернигове и других городах эвакуированным жителям были выделены тысячи квартир; кроме того, в 1986 г. для них была построена 21 тыс. домов в сельской местности [4].

Во время эвакуации населения были приняты различные превентивные меры и меры по дезактивации (особое внимание было уделено дезактивации автомобилей, автодорог и обочин дорог). Для предо-твращения загрязнения воды, переносимой в реки, питающие Киевское водохранилище, было построено 140 дамб и плотин, берега всех ближайших к ЧАЭС рек были обвалованы. Кроме того, подземное пространство под площадкой ЧАЭС до глубины, до-стигающей водоупорных глинистых пород, было ограждено «стеной в грунте» глубиной 29-32 м и длиной 2,3 км для того, чтобы предотвратить поступление загрязне-нных вод в р. Припять и, далее, в Днепр. Для охраны подземных вод от загрязнения, а также предотвращения поступления загрязненных вод пруда-охладителя в р. Припять было построено несколько систем подземного дренажа длиной в десятки кило-метров, включая скважины.

Власти Советского Союза, широко привлекая ведущих специалистов страны в области радиационной медицины, ядерной геофизики и сельскохозяйственной радиологии, установили различные критерии для борьбы с последствиями аварии на ее ранней и более поздних стадиях. Эти критерии и их оценки подробно описываются в ряде публикаций [17, 18]. Среди них к наиболее ранним и важным следует отнести решения о зонах отчуждения (с уровнями радиации > 200 (Зв/час (>20 мР/час) на 10 мая 1986 г.), отселения (>50 (Зв/час (>5 мР/час) на 10 мая 1986 г.) и частичного отселения (30-50 (Зв/час (3-5 мР/час) на 10 мая 1986 г.). На 10 мая 1986 г. площади зон составили: отчуждения - 1100 кв.км, отселения - 2940 кв.км, тогда как на ту же дату загрязненная выбросами ЧАЭС территория СССР с уровнями более 2 (Зв/час (0,2 мР/час) оказалась равной примерно 50 тыс. кв. км [8]. В мае 1986 г. были установлены критерии предельного загрязнения местности долгоживущими радионуклидами: в частности, по цезию-137 - 555 кБк/кв. м (15 Ки/кв. км, перво-начально 7 Ки/км²), стронцию-90 - 111 кБк/кв. м (3 Ки/км²), по плутонию-239,240 - 3,7 кБк/кв. м (0,1 Ки/км²) [17]. Критерии выделения зон (например, предельные дозовые нагрузки в течение года или всей жизни, пороговые уровни загрязнения территории и концентрации радионуклидов в пищевых продуктах и т.д.) со временем менялись в сторону большего ужесточения [4, 18]. Критерии, приведенные в таблице П.2, были приняты в бывшем Советском Союзе для организации управления на пострадавших территориях; впоследствии они были приняты в Беларуси, России и на Украине, с некоторыми незначительными различиями в требованиях к мероприятиям, определяемым ими. Эти критерии также положены в основу определения размеров компенсационных выплат тем, кто продолжает проживать на загрязненных территориях.

На самых ранних стадиях после аварии источниками радиационного воздействия были, в основном, внутреннее (за счет вдыхания) и внешнее облучение (от проходящего радиоактивного облака). Вдыхание относительно короткоживущих изотопов иода (например, иода-131 и иода-133), которые действовали на щитовидную железу, было одним из основных факторов первоначального воздействия; такого рода воздействие во многих случаях уменьшалось при своевременном принятии таблеток стабильного иода, по крайней мере, частью населения. Попадание радиоизотопов иода в организм с пищей (особенно с молоком) оказалось в некоторых районах основным источником облучения, в результате чего через некоторое время были приняты ограничения на употребление таких пищевых продуктов. Высокие дозы облучения были получены многими детьми, у которых в настоящее время наблюдается большое число заболеваний раком щитовидной железы (более тысячи случаев на сегодня). В течение нескольких месяцев после аварии выпавшие цезий-134 и -137 не были главными источниками облучения населения (их вклад составлял ~10 % [7]), со временем относительная значимость цезия-137 возросла за счет большей длительности периода его полураспада, и в настоящее время этот радионуклид определяет формирование дозы как внешнего, так и внутреннего облучения, главным образом, за пределами зоны отселения. В ближайшем и более отдаленном будущем вклад других долгоживущих радионуклидов, включая тугоплавкие (например, стронция-90 и плутония-239,240) в облучение населения будет сравнительно небольшим, особенно за зоной эвакуации, (максимум - несколько процентов от воздействия цезия-137 и даже менее). Такая значимость цезия-137 в определении среднесрочного и долгосрочного воздействия облучения на население объясняет, почему в Атласе основное внимание сосредоточено именно на этом радионуклиде.

Помимо загрязнения обширных территорий бывшего Советского Союза [19,20], значительные площади были загрязнены и во многих других странах Европы (в некоторых случаях уровни загрязнения, наблюдаемые там на сравнительно небольших площадях, превышают 100 кБк/кв. м, или 2,7 Ки/кв. км). Это вызвало необходимость разработки программ интенсивного мониторинга, особенно в странах, где наблюдались такие уровни загрязнения, например, в Скандинавии, Альпийском регионе и Греции. Уровни загрязнения измерялись с использованием различных методик, включая как отбор проб почвы с последующим и гамма-спектрометрическим анализом, так и гамма-спектрометрию in situ и дистанционную гамма-спектрометрию (см. Приложение В). В остальных странах загрязненные продукты питания представляли большую, но не единственную проблему (например, в Польше среди потенциально пострадавшего населения в централизованном порядке распространялся стабильный иод для смягчения последствий вдыхания радиоактивного иода). В некоторых странах были введены ограничения на продукты питания (например, на потребление молока в первые недели после аварии). В ряде случаев эти ограничения (например, на продукцию овцеводства в некоторых районах Великобритании, на продукцию оленеводства в некоторых районах стран Севера) оставались в силе почти в течение 10 лет после аварии, хотя и на меньших территориях по сравнению с первоначально выбранными. В различных странах применялись совершенно различные критерии для контроля за продуктами питания, что привело к возникновению обеспокоенности и замешательства среди широких слоев населения. Тем не менее, с тех пор были выработаны широко признанные требования к международной торговле продуктами питания (например, Кодекс продуктов питания, ЕК) [21-23].

and often less). The overriding importance of caesium-137 in determining the medium and long term exposure of the population is the reason why it is the focus of this Atlas. In addition to the major deposition of radioactive material that occurred on the territories of the former Soviet Union [19,20], many countries in the rest of Europe experienced significant fallout from the accident (in excess of 100 kBq m⁻² (2.7 Ci km⁻²) in some cases, albeit over limited areas). This resulted in intensive monitoring programmes, especially in those countries where higher values of deposition were observed eg, Scandinavia, the Alpine region and Greece. Deposition was measured by various techniques including soil sampling and gamma spectrometry, both fixed and mobile (see Appendix B). Contamination of foodstuffs represented the major, but not sole problem in these other countries (eg, stable iodine was administered to potentially affected populations in Poland to mitigate the effects of the inhalation of radioactive iodine from the dispersing radioactive cloud). Restrictions were imposed on foodstuffs in several countries (eg, for milk consumption in the first weeks after the accident). In some cases these restrictions (eg, on sheep in parts of the United Kingdom, on deer in some parts of the Nordic countries) remain in place more than a decade after the accident, albeit over decreasing areas with time. Disparate criteria were used to control foodstuffs in different countries and this was a source of much confusion and concern for the general population. Broadly agreed criteria for the international trade of foodstuffs have, however, since been developed (eg, Codex Alimentarius, EC) [21-23].

III. The deposition of caesium-137 on the territory of Europe

A. Introduction

The main content of the Atlas, the maps of caesium-137 deposition on the territory of Europe, are described in this section. Consideration is given to the situation just prior to and immediately after the CNPP accident. Just prior to the accident the deposition was mainly a result of fallout from the testing of atomic weapons in the atmosphere; these deposits occurred predominantly, but not exclusively, in the mid 1950s and early 1960s. In a few localised areas, enhanced levels (ie, enhanced relative to levels typical of global fallout from atomic weapons) of deposition existed due to accidents other than at the CNPP, eg, the accident that occurred in 1957 at the industrial complex “Mayak” in Russia [24], and as a result of discharges to the environment from nuclear installations, eg, liquid effluents from the fuel reprocessing plant at Sellafield in the United Kingdom.

The basic data and the methods used to process them into the maps presented in this Atlas are summarised. More detailed descriptions of both the data and methods can be found in Appendices B - D; these are likely to be of interest to the more specialist reader. The maps of caesium deposition are presented on three geographic scales: European, national/regional and local. A number of the more prominent features of the maps are highlighted in order to illustrate points of potential interest to the reader.

The maps of deposition have been used to estimate the total amount of caesium-137 deposited on the territory of Europe as a result of the CNPP accident and its distribution among the affected countries. Comparisons are made with estimates of the total amount of caesium-137 released in the accident.

B. The basic data

The data which underlie the maps are summarised in Appendix B and their origins are indicated in Appendix G. Each data point comprises one or more measurements attributed to a single location. For settlements which have been the subject of extensive surveys (eg, in the more affected areas of Belarus, Ukraine and Russia) hundreds, in some cases thousands, of measurements may have been attributed to a single location.

Most of the data have been provided by or through national contact points in each country who were responsible for the quality and validity of the data. Consequently, validation of the data by the project staff was fairly rudimentary and essentially limited to the identification and correction of internal inconsistencies in the data and/or of discontinuities at national boundaries. Subjecting the basic data to more rigorous validation in future would no doubt be worthwhile in a scientific context but would be unlikely to alter materially the main features of the maps presented in this Atlas.

The data are diverse both in terms of their spatial resolution and the type of measurement on which they were based. The reported levels of deposition are based, *inter alia*, on airborne gamma surveys, *in-situ* measurements of gamma dose rates and spectrometry, measurements of soil profiles (often to different depths), etc. Each type of measurement has its strengths and weaknesses which, in a more rigorous analysis, could be taken into account quantitatively in estimating patterns of deposition. Such analyses, while worthwhile in the future, were beyond the resources of this project. For the purposes of this study the assumption was made that all reported data represented the total amount of caesium-137 deposited at the time when and where the measurement was made (apart from a few exceptions, see Appendix B, Table B.1).

C. Methods used to process the basic data

Maps have been compiled separately on a European, national and local scale from the basic data on deposition levels. The basic data have been interpolated onto a grid of dimensions 2 by 2 km using an Inverse Distance Weighting (IDW) method. This method and its mode of application are described further in Appendix D. Isolines of deposition have been constructed from the interpolated values of deposition in each of the gridded cells. In some cases the output from the strict application of this method was further refined to take account of additional information that was strictly not part of the basic data used within the project in the interpolation process. This additional information comprised the following; firstly, the original measurements of deposition, as opposed to aggregated data that were available to and used within the project (in some cases several hundreds or exceptionally several thousands of measurements may have been aggregated into single points in the data base); secondly, the quality or reliability of each measurements or type of measurement; and thirdly, characteristics of the surface on which the deposition was measured or was being interpolated. This additional information had been used previously in compiling national maps of deposition for Belarus, Russia and Ukraine and advantage of these earlier analyses was taken here.

III. Загрязнение территории Европы цезием-137

A. Введение.

В настоящем разделе представлены карты загрязнения территории Европы цезием-137, составляющие основное содержание Атласа. Показана ситуация непосредственно до Чернобыльской аварии и вскоре после нее. Дочернобыльское загрязнение было обусловлено выпадениями в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере. Это загрязнение сформировалось, в основном, в середине 50-х - начале 60-х гг. В некоторых небольших по площади районах Европы загрязнение, повышенное относительно уровней, типичных для глобальных выпадений, вызвано не Чернобыльской аварией, а выбросами ядерных установок или предприятий в окружающую среду, например, в результате аварии на промышленном комплексе «Маяк» в России в 1957 г. [24], в результате выбросов жидких отходов в окружающую среду от регенерационной установки в Селлафилде в Великобритании.

В Атласе приводится описание исходных данных и методов их обработки для составления карт. Более подробное описание как данных, так и методов картографирования можно найти в Приложениях В-Е; оно может вызвать интерес у более подготовленных специалистов. Карты загрязнения цезием-137 представлены в трех масштабах: общеевропейском, региональном (масштабе стран) и локальном. Для удовлетворения потенциального интереса читателя дается общая характеристика этих карт.

Карты загрязнения использовались для оценки количества цезия-137, выпавшего на территории Европы в результате Чернобыльской аварии, и для оценки распределения этого количества по странам, подвергшимся загрязнению. Приводятся также сравнения с расчетным количеством цезия-137, выброшенного во время аварии.

B. Исходные данные

Данные, на основе которых проводилось картографирование, приводятся в Приложении В, а в Приложении Г указаны их источники. Каждая точка, содержащая информацию, относится к определенному местоположению и представляет собой результаты единичного измерения или нескольких измерений. В населенных пунктах, где проводились подробные исследования (например, в наиболее пострадавших районах Беларуси, Украины и России), одному местоположению могут быть приписаны результаты сотен или тысяч измерений.

Большая часть данных по странам была предоставлена государственными организациями, участвующими в проекте, которые несут ответственность за качество информации. Поэтому, проведенная участниками проекта оценка данных была учтена, в основном, при обнаружении противоречивости данных и/или их несоответствия на границах государств. В научном плане было бы полезно провести в будущем более строгий учет экспертизы исходных данных, но, предположительно, общая картина загрязнения, представленная в Атласе, не претерпит при этом кардинальных изменений.

Данные различались как по своему пространственному разрешению, так и по типу измерений. Приведенные уровни загрязнения основаны на данных аэрогамма-спектральной съемки, данных радиометрических и гамма-спектрометрических измерений *in situ*, данных измерений проб почвы, отбиравшихся на различную глубину и т.д. Каждый вид измерений имеет свои сильные и слабые стороны, что могло бы стать предметом сопоставления данных о загрязнении при более пристальном анализе. Такого рода анализ не финансировался в рамках данного проекта, хотя его проведение было бы желательно в будущем. Проект основывался на данных реальных измерений, в которых цезий-137 не различается по происхождению, и все приведенные данные отражают суммарное количество цезия-137, выпавшего к моменту проведения измерения (несколько исключений указано в таблице В.1 Приложения В).

C. Методы обработки исходных данных

На основе данных об уровнях радиоактивного загрязнения местности цезием-137 составлялись карты для общеевропейского, регионального и локального разделов Атласа. Данные пересчитывались в регулярную сеть с размерами 2 x 2 км с использованием метода «квадратов обратных расстояний». Этот метод и его применение описывается в Приложении D. Изолинии строились по рассчитанным величинам уровней загрязнения местности в каждом узле сетки. В некоторых случаях результаты формализованного применения этого метода подвергались коррекции с учетом дополнительной информации, которая не входила в исходные данные. Дополнительная информация разделялась на три основные категории: во-первых, это пространственные данные с более высокой разрешающей способностью, обобщенные в части исходной информации, и отнесенные к одному местоположению (например, к центру населенного пункта); во-вторых, это информация о качестве или надежности данных, относящаяся к различным измерениям в одной и той же точке, полезная для определения «веса» соответствующих данных; в-третьих, это географическая информация об исследуемой территории. Такая информация учитывались при составлении государственных карт Беларуси, России и Украины, где плотность и разнообразие измерений было самым большим.

D. Caesium deposition on a European scale (see Plate 1)

D. Загрязнение цезием территории Европы (см. рис. 1)

D.1 Deposition prior to the Chernobyl Nuclear Power Plant accident

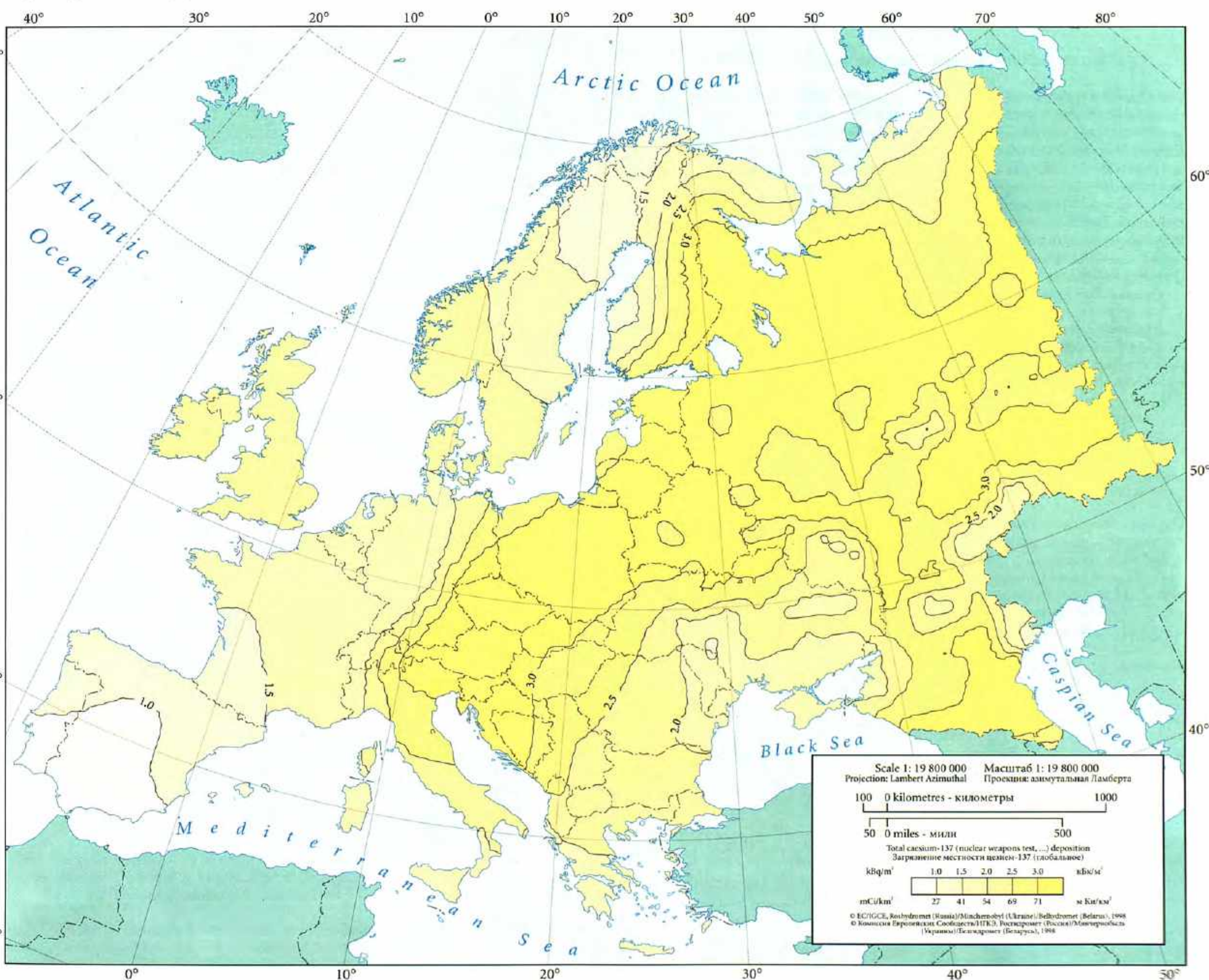
D.1. Загрязнение до Чернобыльской аварии

Prior to the CNPP accident the deposition of caesium-137 on the territory of Europe was principally due to global fallout from the atmospheric testing of nuclear weapons. The spatial distribution of deposited caesium-137 from this source is illustrated in Fig III.1 where the deposition levels are those pertaining just prior to the accident. The quality or reliability of the deposition patterns, however, varies considerably over Europe. For the European part of the former Soviet Union, the deposition patterns are based on airborne gamma surveys (with flight paths of 50 km separation) carried out in the period 1969 to 1973 [25] (ie, after atmospheric testing of nuclear weapons had largely ceased). Given the nature and resolution of these surveys, the resulting deposition patterns can be viewed with confidence. For the remainder of Europe the patterns were derived from maps of strontium-90 deposition across the Northern Hemisphere prepared by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) [26]; the caesium-137 deposition levels were obtained by scaling the measured strontium-90 levels by the ratio of the total amounts of the respective nuclides released in the atmospheric testing of nuclear weapons. The deposition patterns for this area of Europe are based on relatively few measurements and, consequently, are associated with much greater uncertainty than those for the European part of the former Soviet Union. For comparison, more recent UNSCEAR reports [eg, 27] contain estimates of the average levels of deposition of fallout nuclides as a function of latitude. For caesium-137, average levels just prior to the CNPP accident were about 1.8, 2.4 and 2.2 kBq m⁻² (0.049, 0.065 and 0.059 Ci km⁻²) for latitudes 30-40°N, 40-50°N and 50-60°N, respectively; these are, in general, consistent with the levels depicted in Figure III.1. The total amount of caesium-137 from weapons' fallout that remained deposited on the European land-mass just prior to the Chernobyl accident is estimated to be 20 PBq (0.54 MCi).

До Чернобыльской аварии загрязнение территории Европы цезием-137 в основном было вызвано глобальными выпадениями от испытаний ядерного оружия в атмосфере. Пространственное распределение глобального цезия-137 показано на рис. III.1, где уровни загрязнения датированы временем непосредственно перед аварией на ЧАЭС. Надежность данных о глобальном загрязнении весьма неоднородна по территории Европы. Для Европейской части бывшего Советского Союза карта основывается на данных аэрогамма-спектральной съемки с маршрутами полетов через каждые 50 км, выполненной в период 1969-1973 [25]. В это время испытания ядерного оружия в атмосфере в основном прекратились. Учитывая характер и пространственное разрешение этой съемки, можно считать полученные результаты весьма надежными. Для остальной части Европы картографирование глобального цезия-137 проводилось на основании данных о выпадениях стронция-90 в Северном полушарии, полученных Комитетом ООН по воздействию атомной радиации (UNSCEAR) [26]. Уровни загрязнения цезием-137 были получены в результате пересчета уровней выпадения стронция-90, используя постоянство соотношения этих радионуклидов в глобальных выпадениях в результате испытаний ядерного оружия. Картографирование глобального загрязнения этой части Европы основывается на относительно небольшом числе измерений и, следовательно, связано с существенно большей неопределенностью, чем картографирование глобального загрязнения для Европейской части бывшего Советского Союза. Для сравнения, более поздние отчеты UNSCEAR [27] содержат оценки средних уровней глобального загрязнения в зависимости от широты. По цезию-137 средние уровни непосредственно перед Чернобыльской аварией составляли около 1,8 кБк/м² (0,049 Ки/км²) на широтах 30-40° с.ш., 2,4 кБк/м² (0,065 Ки/км²) на широтах 40-50° с.ш. и 2,2 кБк/км² (0,059 Ки/км²) на широтах 50-60°. Эти цифры в целом не противоречат уровням, показанным на рис. III.1. Непосредственно перед аварией на ЧАЭС общее количество глобального цезия-137, выпавшего в результате испытаний ядерного оружия, оценивается для территории Европы в 20 ПБк (0,54 МКи).

Fig. III.1: Residual levels (in May 1986) of caesium-137 deposition from the atmospheric testing of nuclear weapons

Рис. III.1: Уровни загрязнения (Май 1986 г.) цезием-137 в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере



D.2 Deposition after the Chernobyl Nuclear Power Plant accident

The deposition patterns of caesium-137 across the whole of Europe immediately after the CNPP accident are illustrated on Plate 1 (scale 1:11 250 000). In this map, as for all caesium-137 maps in this Atlas, the reported levels are for the total amount of caesium-137 deposited, irrespective of its source (ie, from the CNPP accident, weapons' tests, etc), but taking account of loss through radioactive decay up to May 1986. The deposition patterns show many striking features but only a few can be highlighted here. For perspective, the reader may wish to note that the lowest band of deposition illustrated ($< 2 \text{ kBq m}^{-2}$ ($< 0.054 \text{ Ci km}^{-2}$) and coloured yellow) is typical of that from weapons' testing; consequently, the 2 kBq m^{-2} deposition isoline can be used as a convenient, albeit over-simplified, dividing line between areas affected and unaffected by deposition from the CNPP accident. Reference, however, should be made to the national maps, which have higher resolution.

The deposition patterns reflect the characteristics of the release, especially its long duration, and the changing meteorological conditions during this period (see Appendix A). It is apparent that caesium-137 was dispersed over almost the whole of Europe, with relatively few areas not affected. Several distinctive patterns of deposition are evident.

The patchiness or irregularities in the deposition patterns are particularly striking, as are the enhanced levels of deposition at locations far removed from Chernobyl. These features reflect the inherent complexity of the processes that govern the dispersion of material in, and its deposition from, the atmosphere. If meteorological and other conditions remain constant, the level of deposition decreases in general with increasing distance from a source. However, changing conditions radically alter this simple picture and are responsible for the complex patterns illustrated on Plate 1. Significant relative increases in deposition can occur for many reasons, eg, the wind speed drops, the dispersing material encounters rainfall, the height of the mixing boundary layer in the atmosphere decreases, the roughness of the underlying surface increases (eg, forests compared with grassland), etc; conversely, decreases in deposition can occur for the opposite reasons. Rain, falling through the radioactive cloud, can result in large increases in deposition and was responsible for many of the enhanced levels that occurred at distances far removed from Chernobyl. The release, during the initial stages of the accident, of material above the atmospheric boundary layer was a further contributor to the enhanced levels found at very large distances.

The enhancement of deposition at distances far removed from Chernobyl is best exemplified by reference to the situation in southern Germany, Austria, Finland, Norway, Sweden and the middle Volga region in Russia. In these areas (which are more than 1,000 km from Chernobyl) there are significant areas where the deposition is greater than 40 kBq m^{-2} (1.08 Ci km^{-2}).

E. Caesium deposition on a national scale (see Plates 3 to 25)

Maps for each country in Europe (with a few exceptions where insufficient data were available) have been compiled to represent the levels of total deposition of caesium-137 immediately after the release had terminated and the plumes had dispersed beyond the territory of Europe. Some 20 maps have been prepared with scales ranging from 1:1,000,000 to 1:2,500,000. In a few cases, for ease of presentation, some of the countries have been grouped into regional maps (ie, the Benelux countries and France, the Baltic States, etc). In other cases, countries or geographic regions were subdivided (ie, Russia, Scandinavia) so that a similar scale could be used for all of the maps. An index of the national/regional maps and their scales is given on Plate 2.

Each map includes the following main elements:

- Patterns of the total (Chernobyl, nuclear weapons' fallout, etc) amount of caesium-137 deposited (corrected for radioactive decay to 10 May 1986) immediately after the accident;
- A number of geographic features, eg, international boundaries, major roads, railways, rivers, lakes, and towns with more than 10,000 inhabitants, etc;
- A general legend showing the map scale and the colours used to represent different levels of deposition, unavailability of data, etc;
- An insert which indicates the location and deposition level for each of the data used in compiling the map;
- An insert, at the top-right hand corner, which indicates the location of each map relative to the rest of Europe;
- Plate numbers of adjacent maps.

The insert, showing the location and deposition level for each of the data used in compiling the maps, is in general presented in the form of a Voronoi polygon (see also Appendix D); the colour of the polygon is determined by the measured level of deposition. Each polygon represents one or more measurements attributed to a single location; in some cases, the number of measurements attributed may be large although this cannot be ascertained directly from the information presented (see Appendix B). In other cases, the density of data is too great for them to be represented in the form of a Voronoi polygon (eg, for Russia); the basic data are then depicted as points coloured in accordance with the associated level of deposition.

It is beyond the scope of this Atlas to provide a detailed commentary on each of the national/regional maps. A number of general and more specific features, however, warrant comment. The reliability of the patterns of deposition differs greatly between countries. In general, the reliability of the deposition patterns will increase with the spatial density of data used in their compilation. The Voronoi polygons, included as inserts in each map, provide the reader with a rapid, albeit approximate, means of assessing this, at least in relative terms. In general, the spatial density of the measurements is, as would be expected, greatest in those countries or regions which experienced the greatest fallout from the CNPP accident. In those countries which experienced little, if any, fallout the measurements tend to be sparse and the interpolated deposition patterns are associated with much greater uncertainty. Such cases can be readily identified from cursory inspection of the maps and, in particular, the Voronoi polygons.

The national/regional maps provide much greater resolution and fine structure than the European map. The patchiness or irregularity in the deposition patterns is even more pronounced but its origins are as described previously. By far the highest levels of deposition

D.2. Загрязнение после Чернобыльской аварии

В Атласе представлена общеевропейская карта загрязнения цезием-137, датированная временем вскоре после Чернобыльской аварии (масштаб 1:11 250 000, рис. 1). Эта карта, как и все карты Атласа, отражает суммарные уровни загрязнения цезием-137 (т.е. итог наложения загрязнения чернобыльского происхождения на загрязнение в результате атмосферных испытаний ядерного оружия и др.). Карты приводятся на 10 мая 1986 г. Пятна радиоактивного загрязнения обладают рядом особенностей; остановимся здесь на некоторых из них. Отметим, что загрязнение территории с наиболее низкими уровнями, представленными на карте ($< 2 \text{ kBq/m}^{-2}$, или $< 0,054 \text{ Ки/км}^2$, даны желтым цветом) обусловлено, в основном, только выпадениями в результате испытаний ядерного оружия; следовательно, изолиния 2 kBq/m^2 ($0,054 \text{ Ки/км}^2$) может быть использована как условная граница регионов, подвергшихся и не подвергшихся влиянию Чернобыльской аварии. Карты регионального раздела Атласа более детально освещают этот аспект.

Карты загрязнения отражают характеристики чернобыльского выброса и меняющиеся метеоусловия в этот период (см. Приложение А). Очевидно, что цезий-137 распространился почти по всей территории Европы, лишь немногочисленные районы остались не затронуты. Можно проследить и ряд наиболее загрязненных территорий.

Для чернобыльских выпадений характерна пятнистость, или неоднородность загрязнения, а также появление отдельных пятен с повышенными уровнями на значительном удалении от ЧАЭС. Это отражает специфику сложных процессов, определяющих рассеяние веществ в атмосфере и их выпадение. Если бы метеорологические и другие условия были неизменны, то уровни загрязнения уменьшались бы с увеличением расстояния от источника. Однако, варьирующие метеоусловия радикально изменили эту простую картину и явились причиной формирования сложных неоднородных полей загрязнения, показанных на рис. 1. Появление пятен загрязнения может зависеть от многих причин, например, от промывания загрязненной атмосферы осадками, от скорости ветра, от уменьшения высоты пограничного слоя, от увеличения шероховатости подстилающей поверхности (например, появление леса на пути распространения загрязненной струи) и т. д.; и наоборот, загрязнение может уменьшаться в силу противоположных причин. Осадки, вымывавшие радиоактивность из атмосферы, привели к увеличению уровней загрязнения в ряде мест и зачастую были причиной появления пятен на больших расстояниях от ЧАЭС. В начальный период после аварии выброс радиоактивных продуктов частично проходил выше приземного слоя атмосферы, что также способствовало повышению уровней загрязнения на больших расстояниях от ЧАЭС.

Увеличение загрязнения на больших расстояниях от ЧАЭС наиболее ярко иллюстрируется ситуацией на юге Германии, в Австрии, Финляндии, Норвегии, Швеции, в Среднем Поволжье. В этих регионах, находящихся на расстоянии более 1000 км от ЧАЭС, обнаружены значительные площади с уровнями загрязнения более 40 kBq/m^2 ($1,08 \text{ Ки/км}^2$).

E. Загрязнение цезием территорий государств Европы (см. рис. 3 до 25)

Карты загрязнения цезием-137 по каждой стране Европы (за немногим исключением, где не было достаточного количества данных) были построены на время вскоре после завершения выпадений из распространявшейся радиоактивной струи (на 10 мая 1986 г.). Всего было подготовлено около 20 карт. Масштабы карт: 1:1 000 000 - 1: 2 500 000. В ряде случаев для удобства представления некоторые страны были сгруппированы по регионам (например, страны Бенилюкса и Франция, страны Балтии и т.д.). В других случаях страны или географические регионы были показаны на нескольких картах (например, Россия, Скандинавия). Указатель карт государств и их масштабов приводится на вкладной иллюстрации 2.

Каждая карта регионального раздела включает следующие элементы:

- собственно карта суммарного радиоактивного загрязнения местности цезием-137 (чернобыльского, глобального и др. происхождения) по состоянию на 10 мая 1986 г., т.е. на дату сразу же после завершения выпадений; загрязнение представляется в изолиниях;
- карта загрязнения в изолиниях сопровождается рядом географических характеристик, таких как, государственные границы, крупные автомобильные и железные дороги, реки, озера и населенные пункты с населением более 10 тыс. жителей и т.д.;
- условные обозначения, масштаб карты и цветовая шкала, используемая для представления различных уровней загрязнения, указание на отсутствие данных (если это требуется) и т.д.;
- карта-врезка, показывающая пространственное размещение данных, использованных при составлении карты;
- карта-врезка в верхнем правом углу страницы, показывающая расположение территории картографирования в пределах Европы;
- номера страниц соседних листов карты.

Карта-врезка, показывающая пространственное размещение данных об уровнях загрязнения, использованных при составлении карты, представлена в виде полигонов Вороного (см. также Приложение D); цвет каждого полигона определяется уровнем загрязнения. Каждый полигон представляет одно измерение. В некоторых случаях число измерений, приписываемых одному местоположению, может быть больше одного, хотя этого нельзя определить непосредственно из представленной карты-врезки (см. Приложение В). В других случаях густота данных слишком велика для того, чтобы их можно было представить в виде полигона Вороного (например, в России); в этих случаях исходные данные показаны в виде точек, цвет которых соответствует определенным уровням загрязнения.

Чтобы не описывать детально каждую карту регионального раздела, прокомментируем некоторые общие их особенности. Достоверность изображения пятен загрязнения заметно различается по странам. В целом, достоверность отображения

occurred on the territories of Belarus, Russia and Ukraine. Levels in excess of 40 kBq m⁻² (1.08 Ci km⁻²) occur in many countries outside the former Soviet Union and, in several of these, the levels exceed 100 kBq m⁻² (2.7 Ci km⁻²).

Two of the maps require clarification as some of the enhanced levels illustrated are a result neither of fallout from weapons testing nor from the CNPP accident.

The first concerns the map of the United Kingdom (Plate 6) where the enhanced levels along the north-west coastline of England and the south-west coastline of Scotland are a result of the discharge to the Irish Sea of caesium-137 in liquid effluents from the reprocessing of Magnox fuel at Sellafield; these discharges were particularly elevated in the 1970s but have since been substantially reduced through, *inter alia*, the commissioning of improved waste treatment facilities. The enhanced levels along some parts of the coast line, particularly in estuarine areas, have resulted from the deposition of sea-borne silts on land which is occasionally flooded at high tides.

The second concerns the map of Russia (eastern part of European territory and southern Urals), Plate 24, where the deposition of caesium-137 resulting from the accident at the industrial complex “Mayak” in 1957 is illustrated. Strictly, this should not be included in the Atlas because “Mayak” is located east of the Urals and beyond the territory of Europe. However, because of its proximity to the European border, the additional perspective it brings and the likely interest of many readers in deposition from the Mayak accident, it has been included in the Atlas. Deposition from this source has not, however, been taken into account when estimating the amount of caesium-137 deposited over the territory of Europe.

F. Caesium deposition on a local scale (see Plates 27 to 60)

More detailed maps are presented of the patterns of total caesium-137 deposition for those areas where the levels are particularly enhanced. Two sets of maps have been compiled and are distinguished by the levels of deposition which they depict. The first concerns areas where the deposition level exceeds 40 kBq m⁻² (1.08 Ci km⁻²) at a scale of 1:500,000 and the second areas where the level exceeds 1480 kBq m⁻² (40 Ci km⁻²) at a scale of 1:250,000. Apart from the Voronoi polygons, the local scale maps include the same elements as for the national/regional maps (see section III.E). The content of these maps is, however, limited to those areas where the deposition exceeds one or other of the specified levels. The reader should refer to the national/regional maps for further information on levels and patterns of deposition in adjacent areas which are not depicted in the local scale maps.

Areas where deposition exceeds 1480 kBq m⁻² (40 Ci km⁻²) are confined to Belarus, Ukraine and Russia, whereas the level of 40 kBq m⁻² (1.08 Ci km⁻²) is exceeded in several countries outside the former Soviet Union. The areas exceeding the specified levels are identified on Plate 26 where an index is given for each of the maps and the scale on which it is presented. Some 34 local scale maps are presented.

In zones where the deposition level is less than 40 kBq m⁻² (1.08 Ci km⁻²), the annual average dose (in 1998) will, with a very high degree of confidence, not exceed 1 mSv (100 mrem); this level of dose is adopted by the authorities of Belarus, Russia and Ukraine as a threshold for taking countermeasures and introducing privileges for the affected population.

Deposition levels in excess of 40 kBq m⁻² (1.08 Ci km⁻²) are observed out to much larger distances (Plates 27 to 57). In Eastern Europe these levels are found mainly in flat areas while, in Western Europe, they are found largely in mountainous areas. Some spots were formed in precipitation zones, some in regions with increased break of the relief or on mountain slopes blocking or cutting the dispersing radioactive plumes.

The second set of local maps (scale 1:250,000, Plates 58 to 60) depicts areas with caesium-137 deposition levels in excess of 1480 kBq m⁻² (40 Ci km⁻²). The map of the close-in CNPP zone is based largely on extensive data from soil sampling from a special network established in 1986. This comprises 540 measurement sites within a radius of 60 km, where soil samples were taken twice a year in the period 1986-1990. Other complementary data (eg, measurements obtained from soil sampling in settlements, *in-situ* measurements along special pedestrian routes, detailed airborne gamma-spectrometry, terrain characteristics, etc) were also used.

The most intensive caesium spot (see Plate 60) is located in the immediate vicinity of the CNPP, and extends to a distance of about 60 km around the reactor over the territory of Ukraine and Belarus. The pattern of deposition is very non-uniform (for much the same reasons as in the national and European scale maps), with the highest levels to the north. The main release trajectories can be identified from the deposition patterns.

The Bryansk-Gomel-Mogilev spot (see Plates 58 and 59), which is located in Belarus and Russia, about 150 - 250 km from the CNPP, is more pronounced on the local scale maps. Despite its large distance from the CNPP, the level of deposition in some areas of this spot exceed those in parts of the spot around the reactor itself. Caesium-137 deposition levels of up to about 8,000 kBq m⁻² (216 Ci km⁻²) are found in the Bryansk-Gomel-Mogilev spot and up to about 40,000 kBq m⁻² (1080 Ci km⁻²) in the central spot.

G. The amount of caesium-137 deposited on Europe and its spatial distribution

Estimates have been made of the total amount of caesium-137 deposited on each country and on the territory of Europe as a whole as a result of the CNPP accident. The following approach was used. The total deposition (ie, from weapons’ fallout, the CNPP accident, etc) of caesium-137 on a grid of 1 by 1 km was estimated for the whole of Europe from interpolation of the data used to compile the national scale maps. The total deposition on Europe and in individual countries was obtained by summation over the relevant cells in the grid. Corrections had to be made for those areas or countries where no deposition data were available. For countries where data were missing for relatively small areas (eg, Sicily in Italy) the average level of deposition in that country was assumed to be applicable to the missing areas. Where data were missing for a whole country (namely Albania, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Former Yugoslavian Republic of Macedonia (FYROM), Iceland, Portugal, Serbia) the average level of deposition in immediately adjacent countries was assumed.

пятах загрязнения возрастает с увеличением пространственной плотности исходных данных. Полигоны Вороного, представленные в виде врезки на каждой карте, дают возможность читателю быстро, хотя и приблизительно, оценить это обстоятельство. Как и следовало ожидать, пространственная плотность измерений максимальна в тех странах и регионах, которые подверглись наибольшему загрязнению в результате Чернобыльской аварии. В странах, затронутых аварией в меньшей степени, сеть измерений более разрежена, и интерполированные пятна загрязнения по конфигурации гораздо более неопределенны. Такого рода случаи можно легко обнаружить при беглом просмотре карт в их сопоставлении с картами-врезками полигонов Вороного.

Карты государств и регионов более детальны по сравнению с общеевропейской картой. Неоднородность полей загрязнения на них более ярко выражена, а причины пятнистости аналогичны описанным ранее. Самые высокие уровни загрязнения наблюдаются на территории Беларуси, России и Украины. Уровни, превышающие 40 кБк/м² (1,08 Ки/км²), наблюдаются во многих странах за пределами бывшего Советского Союза, а в некоторых из них уровни превышают 100 кБк/м² (2,7 Ки/км²).

Две карты рассматриваемого раздела требуют пояснений, т.к. повышенные уровни в пределах картографируемых территорий не вызваны ни глобальным загрязнением от испытаний ядерного оружия в атмосфере, ни Чернобыльской аварией.

Во-первых, это карта Великобритании (вкладная иллюстрация б), где повышенные уровни вдоль западной береговой линии являются результатом сброса в Ирландское море жидких отходов, содержащих цезий-137, от регенерации топлива в Селлафильде; эти сбросы были максимальны в 70-х годах, а затем значительно уменьшились в результате использования усовершенствованного оборудования для очистки отходов. Повышенные уровни вдоль береговой линии в ряде мест, в частности, в устьях рек, были вызваны аккумуляцией морских наносов на суше, затопляемой во время высоких приливов.

Во-вторых, это карта восточной части Европейской территории России и Южного Урала (вкладная иллюстрация 24), где показано загрязнение цезием-137 в результате аварии на промышленном комплексе «Маяк» в 1957 г. Отметим, что комплекс «Маяк» располагается к востоку от Уральского хребта и формально к Европе не относится. Однако, расположение комплекса «Маяк» в непосредственной близости от изучаемой нами части света и стремление удовлетворить интерес читателей к информации об этой аварии, - все это привело к решению привлечь данные о загрязнении этой части Зауралья. Эти данные не учитывались, однако, при оценке общего количества цезия-137, выпавшего на территории Европы.

F. Загрязнение цезием отдельных территорий (см. рис. 27 до 60)

Для районов с повышенными уровнями загрязнения, были составлены более подробные карты выпадений цезия-137. Было составлено две группы карт, отличающихся по степени загрязнения. Карты первой группы охватывают районы с уровнями, превышающими 40 кБк/м² (1.08 Ки/км²); они представлены в масштабе 1:500 000. Карты второй группы охватывают районы с уровнями, превышающими 1480 кБк/м² (40 Ки/км²); они даны в масштабе 1:250 000. Кроме полигонов Вороного, карты отдельных территорий включают в себя те же элементы, что и карты регионального раздела. Однако, картографируемые площади ограничены районами, где уровни загрязнения превышают определенные величины. Читатель может обратиться к региональному разделу Атласа для получения информации о более низких уровнях загрязнения в прилегающих районах, не обозначенных на картах локального раздела Атласа.

Районы с превышением 1480 кБк/м² (40 Ки/км²) обнаружены только в Беларуси, Украине и России; тогда как уровень в 40 кБк/м² (1.08 Ки/км²) превышен в некоторых странах за пределами бывшего Советского Союза. Такие районы и страны перечислены на рис. 26, где даются индексы каждой карты и ее масштаб. Представлено около 34 карт локального раздела.

В зонах, где уровень загрязнения ниже 40 кБк/м² (1.08 Ки/км²), среднегодовая эффективная эквивалентная доза (в 1998 г.) не превысит 1 мЗв (100 мР/час.) с очень высокой степенью вероятности; этот уровень дозы принят властями Беларуси, России и Украины в качестве порогового уровня для принятия контрмер и введения льгот для пострадавшего населения.

Территории с уровнями загрязнения, превышающими 40 кБк/м², располагаются на гораздо больших расстояниях от ЧАЭС. Такие территории в Восточной Европе в основном расположены на равнинах, в то время как в Западной Европе они часто приурочены к горным районам. Некоторые пятна образовались в зонах выпадения осадков, некоторые - в районах с повышенной расчлененностью рельефа или на склонах гор, преграждавших путь загрязненным в результате аварии воздушным массам.

Вторая группа карт локального раздела (масштаб 1:250 000, рис. 58 до 60) подробно представляет территории с уровнями загрязнения цезием-137, превышающим 1480 кБк/м² (40 Ки/км²). Важное место при построении карты ближней зоны ЧАЭС имели данные широкомасштабного почвенного опробования на реперной сети, созданной в 1986 г. Она состоит из 540 фиксированных пунктов пробоботбора в 60-км зоне ЧАЭС, где в период 1986-1990 гг. пробы почвы отбирались дважды в год. Использовались также дополнительные данные (измерения почвенных проб в населенных пунктах, измерения in-situ по специальным пешим маршрутам, подробная аэро-гамма-спектрометрическая съемка, ландшафтные характеристики картографируемой территории).

Цезиевое пятно с наиболее высокими уровнями загрязнения (см. рис. 60) находится в непосредственной близости от ЧАЭС, в пределах 60-км зоны вокруг реактора, на территории Украины и Беларуси. Картина загрязнения в ближней зоне ЧАЭС весьма неоднородна (большой частью, по тем же причинам, что и на картах регионального раздела), наибольшие уровни отмечаются в северном секторе. Структура пятна

In order to estimate the deposition that had resulted from the CNPP accident, the contribution from weapons' testing had to be subtracted from the total (the contribution from the terrestrial deposition of caesium-137 discharged in liquid effluents from Sellafield is sufficiently small that no explicit correction needed to be made). The average contribution from weapons' fallout in each 1 by 1 km cell was subtracted from the total caesium-137 deposits estimated for the same cell. Where this average level exceeded the total deposition predicted for a 1 by 1 km cell, the contribution from the CNPP accident was assumed to be zero. This approach has clear limitations and may result in large uncertainties in estimates of the amount of Chernobyl caesium-137 deposited in some countries. These uncertainties will, however, be greatest for those countries which experienced the lowest levels of deposition and will be of little significance in determining the overall amount of Chernobyl caesium-137 deposited on Europe. Nonetheless, this aspect warrants further attention in future with a view to making more rigorous estimates of Chernobyl deposition in the less affected countries.

The estimates of the total and Chernobyl deposits of caesium-137 are summarised in Table III.1 for each country and for Europe as a whole. The total amount of Chernobyl caesium-137 deposited on the land mass of Europe is estimated to be about 64 PBq (1.7 MCi). A fraction of the caesium-137 released in the accident will also have been deposited over European water bodies and some will have been transported beyond the air masses above Europe and deposited over other continents and oceans. It is unlikely, however, that these amounts will exceed more than twenty per cent of the amount deposited over the European land mass [28]. Assuming that not more than 20% was dispersed and deposited beyond Europe, the total amount of caesium-137 estimated to be released in the CNPP is less than 77 PBq (2.1 MCi). This is in broad agreement with previously published estimates of 74 - 85 PBq (2 - 2.3 MCi) [11-13].

Estimates are also given in Table III.1 of the areas in each country, and for Europe as a whole, with levels of total caesium-137 deposition within specified ranges. The percentage of Chernobyl caesium-137 deposited in each European country is also indicated in Table III.1, together with the areas where deposition exceeds, or falls within, particular intervals. The areas in each country where the deposition level of caesium-137 exceeds one or other of the levels adopted in compiling the local maps of enhanced deposition are given in Table III.2.

Table III.1: Total caesium-137 deposition on Europe just after the Chernobyl accident (All values quoted to two significant figures)
Таблица III.1. Суммарного загрязнения Европы цезием-137 Чернобыльской аварии (суммарное и чернобыльское загрязнение)

Country Страна	Surface area Площадь (10 ³ km ²) (10 ³ км ²)	Area (in 10 ³ km ²) with deposition in the specified range (kBq m ⁻² (Ci km ⁻²)) Площади (в 10 ³ км ²) с различными диапазонами загрязнения в кБк . м ⁻² (Ки . км ⁻²)											¹³⁷ Cs deposit ⁽³⁾ Выпадения ¹³⁷ Cs ⁽³⁾		
		< 1 (0-0.027)	1 - 2 (0.027-0.054)	2 - 4 (0.054-0.11)	4 - 10 (0.11-0.27)	10 - 20 (0.27-0.54)	20 - 40 (0.54-1.08)	40 - 100 (1.08-2.7)	100-185 (2.7-5)	185-555 (5-15)	555-1480 (15-40)	>1480 (>40)	Total Суммарны PBq (kCi) ПБк(кКи)	Chernobyl Чернобыльские	
														PBq (kCi) ПБк(кКи)	(% of Europe) (% от суммарных выпадения)
Austria - Австрия	84	0.01	0.13	2.7	17	28	25	11	0.08				1.8 (49)	1.6 (42)	2.4
Belarus - Беларусь	210		30	46	50	22	16	21	8.7	9.4	4.4	2.6	15 (410)	15 (400)	23
Belgium - Бельгия	31	8.1	10	12	0.09								0.053 (1.4)	0.01 (0.26)	0.02
Croatia - Хорватия	56	0.07	10	6.2	29	11	0.03						0.37 (9.9)	0.21 (5.8)	0.33
Czech Republic - Чехия	79			21	42	13	3.5	0.21	< 0.01				0.6 (16)	0.34 (9.3)	0.54
Denmark - Дания	45	5.4	20	19	0.80								0.087 (2.4)	0.016 (0.43)	0.02
Estonia - Эстония	45	0.05	3.0	31	8.7	1.7	0.28	< 0.01					0.18 (4.7)	0.051 (1.4)	0.08
Finland - Финляндия	340	1.9	130	45	50	32	59	19					3.8 (100)	3.1 (83)	4.8
France - Франция	550	290	100	97	54	1.2							0.93 (25)	0.35 (9.4)	0.55
Germany - Германия	350	8.4	58	140	110	29	14	0.32					1.9 (51)	1.2 (32)	1.8
Greece - Греция	130	6.4	16	39	37	21	8.3	1.2	0.04				0.95 (26)	0.69 (19)	1.1
Hungary - Венгрия	93	2.9	25	31	29	5.2	0.23						0.37 (10)	0.15 (4.1)	0.24
Ireland - Ирландия	70	0.08	1.0	21	47	1.3	0.01						0.35 (94)	0.21 (5.6)	0.33
Italy ⁽¹⁾ - Италия ⁽¹⁾	280	140	42	37	37	15	7	1.3	0.05				0.93 (25)	0.37 (15)	0.90
Latvia - Латвия	64	0.01	0.05	43	21								0.25 (6.8)	0.055 (1.5)	0.09
Lithuania - Литва	65		3.1	14	48	0.05							0.44 (12)	0.24 (6.5)	0.38
Luxembourg - Люксембург	2.6		0.09	2.4	0.12								0.008 (0.21)	0.003 (0.08)	< 0.01
Moldavia - Молдавия	34			0.04	13	19	1.9						0.40 (11)	0.34 (9.2)	0.53
Netherlands - Нидерланды	35	6	19	9.1	0.64								0.062 (1.7)	0.01 (0.26)	0.02
Norway - Норвегия	320	14	76	68	89	44	23	7.1	0.08				2.5 (69)	2.0 (53)	3.1
Poland - Польша	310	0.44	110	120	71	10	3.5	0.52					1.2 (32)	0.40 (11)	0.63
Romania - Румыния	240	1.6	9.4	34	120	54	13	1.2					2.1 (55)	1.5 (41)	2.4
Russia (European part) - Россия (Европейская часть)	3800	3.3	300	1900	1100	250	180	44	7.2	5.9	2.2	0.46	29 (780)	19 (520)	30
Slovak Republic - Словакия	49		0.01	9.3	32	6.8	0.61	0.02					0.32 (8.8)	0.18 (4.7)	0.28
Slovenia - Словения	20	< 0.01	0.03	0.14	2.5	8.1	8.7	0.61					0.39 (11)	0.33 (8.9)	0.52
Spain - Испания	500	390	100	0.31									0.38 (10)	0.031 (0.83)	0.05
Sweden - Швеция	450	120	100	78	55	31	33	23	0.44	< 0.01			3.5 (94)	2.9 (79)	4.6
Switzerland - Швейцария	41		< 0.01	6.2	26	6.4	2.3	0.73					0.36 (9.8)	0.27 (7.3)	0.43
Turkey (European part) - Турция (Европейская часть)	24			0.35	23	0.04							0.16 (4.2)	0.10 (2.8)	0.16
Ukraine - Украина	600	0.26	14	140	240	120	43	29	4.3	3.6	0.73	0.56	13 (350)	12 (310)	18
United Kingdom - Великобритания	240	58	48	51	64	15	1.7	0.09	0.04	0.03			0.88 (24)	0.53 (14)	0.83
Reporting countries Изученные страны	9200	1100	1200	3000	2400	740	440	160	25	20	8.1	2.8	82 (2200)	63 (1700)	99
Europe ⁽²⁾ Европа в целом ⁽²⁾	9700												84 (2300)	64 (1700)	100
World (Europe + 20%) Весь мир (Европа + 20%)														77 (2100)	

⁽¹⁾ Excluding Sicily
⁽²⁾ Sum of the values from reporting countries corrected (see Section III.G) for non reporting countries/regions (ie. Albania, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Former Yugoslavian Republic Of Macedonia, Iceland, Portugal, Serbia and Sicily)
⁽³⁾ Derived as the sum of the average caesium-137 deposit in each 1 x 1 km cell apart from Belarus, Russia and Ukraine. For the latter countries the values were derived as the sum of the products of the area and average deposition for each deposition interval

загрязнения дает возможность проследить основные траектории выброса.

Брянско-Гомельско-Могилевское пятно (см. рис. 58 и 59), расположенное на территории Беларуси и России примерно в 150-250 км от ЧАЭС, также подробно представлено на картах локального раздела. Несмотря на то, что пятно расположено на значительном расстоянии от ЧАЭС, уровни загрязнения там зачастую выше уровней загрязнения в некоторых районах 60-км зоны вокруг реактора. В Брянско-Гомельско-Могилевском пятне отмечаются уровни загрязнения, лоходящие примерно до 8 000 кБк/м² (216 Ки/км²), а в центральном пятне - до 40 000 кБк/м² (1080 Ки/км²).

G. Количество выпадений цезия-137 в Европе и его пространственное распределение

Общее количество выпадений цезия-137 в результате Чернобыльской аварии было оценено по территории Европы в целом и по каждой стране в отдельности. Для этого был использован следующий подход. Вначале была построена сетка значений суммарного загрязнения цезием-137 (в результате ядерных испытаний в атмосфере, Чернобыльской аварии и т.д.) для всей Европы с шагом 1 x 1 км, путем интерполяции данных, использовавшихся для построения карт регионального раздела. Суммарное количество цезия-137 в Европе и в отдельных странах было определено путем сложения величин в узлах сетки. Для районов и стран, по которым не было получено карт ввиду отсутствия или недостатка данных, необходимо было ввести поправки. По странам, где данные отсутствовали по небольшим районам (например, Сицилия в Италии), было принято следующее допущение: средний уровень загрязнения для всей страны распространялся на район с отсутствием данных. В случае отсутствия данных по всей стране (а именно, Албания, Босния-Герцеговина, Болгария, бывшая югославская республика Македонии, Исландия, Португалия, Сербия) для нее был использован средний уровень загрязнения соседних стран.

Для определения количества чернобыльских выпадений нужно из величины суммарного загрязнения вычесть величину глобальных выпадений (вклад цезия-137 в результате сбросов в Селлафильде, Великобритания, пренебрежительно мал). Из каждой величины суммарного загрязнения, оцененной по сетке размером 1 x 1 км, вычиталась средняя величина глобального загрязнения цезием-137 в результате испытаний ядерного оружия. Припималось, что в тех местах, где эта средняя

⁽¹⁾ без Сицилии
⁽²⁾ Оценка состоит из суммы значений, полученных по изученным странам, с введением поправки (см.раздел III.G) для стран или районов, по которым не было собрано данных (т.е. по Албании, Боснии-Герцеговине, Болгарии, Бывшая Югославская Республика Македонии, Исландии, Сербии и Сицилии)
⁽³⁾ Рассчитаны, исходя из суммы ячеек размером 1 x 1 км, использованной для расчета выпадений цезия-137

Table III.2: Areas in each country with caesium-137 deposition in excess of specified levels
Таблица III.2: Территории в каждой стране с загрязнением местности цезием-137, превышающим определенные уровни

Country Страна	Local scale maps (in 10 ³ km ²) Площадь (в 1 000 км ²) с уровнями загрязнения:	
	> 40 kBq m ⁻² (> 1.08 Ci km ⁻²) > 40 кБк/м ² (> 1.08 Ки/км ²)	> 1480 kBq m ⁻² (> 40 Ci km ⁻²) > 1480 кБк/м ² (> 40 Ки/км ²)
Austria - Австрия	11	
Belarus - Беларусь	46	2.6
Czech Republic - Чехия	0.21	
Estonia - Эстония	< 0.01	
Finland - Финляндия	19	
Germany - Германия	0.32	
Greece - Греция	1.2	
Italy (1) - Италия (1)	1.3	
Norway - Норвегия	7.1	
Poland - Польша	0.52	
Romania - Румыния	1.2	
Russia (European part) - Россия (Европейская часть)	60	0.46
Slovak Republic - Словакия	0.02	
Slovenia - Словения	0.61	
Sweden - Швеция	24	
Switzerland - Швейцария	0.73	
Ukraine - Украина	38	0.56
United Kingdom - Великобритания	0.16	

(1) Excluding Sicily

(1) без Сицилии

IV. Chernobyl deposits other than caesium-137

A. Introduction

This Atlas is concerned with those deposited radionuclides which have largely determined, and continue to determine, the medium and longer term radiological impact of the accident. The focus of the Atlas is, therefore, the deposition of caesium-137 and, to a lesser extent, caesium-134. Consideration is also given to the deposition of radionuclides of strontium and plutonium because they are often the focus of public interest; their radiological significance, in comparison with caesium-137, is however small.

B. Deposition patterns for caesium-134

Caesium-134 was also an important constituent of the radioactive material released in the accident. In terms of activity (ie, in Bq or Ci), its release was about 56% of that of caesium-137 (see Table II.1). The deposition patterns of caesium-134 are essentially replicas (albeit with different levels of deposition) of those for caesium-137; consequently, maps of caesium-134 are not presented in the Atlas. The deposition levels of caesium-134 can, however, be readily estimated from the maps of caesium-137 by appropriate scaling. Where the total deposition levels of caesium-137 are high compared with those from weapons' fallout, the caesium-134 levels can be obtained by scaling the caesium-137 levels by a factor of 0.56; where this is not the case, the weapons' fallout should first be subtracted from the total caesium-137 level before scaling. There are two exceptions to this generalisation; these concern those areas with elevated deposition caused by the Mayak accident and liquid discharges from Sellafield. The deposition maps of caesium-137 and the levels of caesium-134 derived in the above manner represent deposition levels pertaining in May 1986 just after the release had terminated and the released material had been dispersed beyond the boundaries of Europe. Deposition levels of each nuclide at other times can be readily estimated from the maps by scaling the reported levels by the factors below.

Table IV.1: The factor by which the deposition levels of caesium-137 reported in the maps should be scaled to obtain deposition levels of caesium-134 and -137 at different times

Time after deposition ceased (a)	Factor by which the deposition levels of caesium-137 reported in the maps should be scaled to obtain deposition levels of caesium-134 and -137 (1)	
	Caesium-134	Caesium-137
0	0.56	1
0.5	0.47	0.99
1	0.40	0.98
2	0.29	0.96
5	0.10	0.89
10	0.019	0.79
20	0.0007	0.63
50	= 0	0.32
100	= 0	0.10

(1) Values are quoted to two significant figures

Because of its much shorter half life (2.06 a) the deposition levels of caesium-134 have declined rapidly in comparison with caesium-137. Some 12 years after the accident, the residual deposition levels (in terms of activity) of caesium-134 are only about 1% of those of caesium-137. In terms of exposure of the population, however, the relative importance of caesium-134 (per unit activity deposit) is about three times greater than would be indicated by a direct comparison of their respective deposition levels; this is due to the energy of the radiation emitted when caesium-134 decays being about three times that for caesium-137. As a consequence, the contribution of caesium-134 to the exposure of the population during the first one to two years of the accident exceeded that of caesium-137.

C. Deposition patterns for strontium-90 and plutonium -239, -240

Maps for these nuclides are included solely for completeness and because concern is often expressed about their importance. Their radiological significance on a European scale is small in comparison with that of caesium-137; consequently, relatively little effort has been allocated in most European countries to measuring their patterns of deposition. Moreover,

величина превышала суммарное загрязнение, рассчитанное для сетки 1 x 1 км, вклад чернобыльского загрязнения равен нулю. Этот подход, безусловно, может привести к большой неопределенности в оценках количества цезия-137 чернобыльского происхождения в отдельных странах. Эта неопределенность будет весьма существенна для стран с низкими уровнями загрязнения и весьма мала при определении общего количества чернобыльского цезия-137, выпавшего в Европе. Описанный аспект требует более пристального внимания в будущем при уточненной оценке чернобыльских выпадений в наименее загрязненных странах.

Оценки количества чернобыльских выпадений цезия-137 для каждой страны и для Европы в целом подытожены в Таблице III.1. Общее количество чернобыльского цезия-137, выпавшего на территории Европы, оценивается приблизительно в 64 ПБк (1,7 МКи). Часть общего количества цезия-137, выброшенного во время аварии, выпала над европейскими акваториями, часть, благодаря переносу с воздушными массами, - над другими континентами и океанами. Однако, маловероятно, что выброшенное количество превысит 20% от количества цезия-137, выпавшего на Европейский массив суши [28]. Предположив, что не более 20% было рассеяно и выпало вне территории Европы, общее количество цезия-137, выпавшего в результате Чернобыльской аварии, можно оценить величиной около 77 ПБк (2,1 МКи). Это согласуется с ранее опубликованными оценками: 74-85 ПБк (2,0-2,3 МКи) [11-13].

В Таблице III.1 приводятся также оценки размеров территорий по каждой стране и по Европе в целом с уровнями суммарного загрязнения цезием-137 в некоторых диапазонах. Там же приведен процент общего количества чернобыльского цезия-137, выпавшего в каждой европейской стране.

В таблице III.2 показаны размеры территорий в пределах каждой страны, где уровень загрязнения цезием-137 превышает тот или иной уровень, принятый для составления карт районов с повышенным загрязнением локального раздела Атласа.

IV. Выпадения других радионуклидов чернобыльского происхождения (помимо цезия-137)

A. Введение

В Атласе рассматривается загрязнение радионуклидами, в значительной степени определяющими и продолжающими определять среднесрочные и длительные радиологические последствия аварии. Поэтому в центре внимания - загрязнение цезием-137 и, в несколько меньшей степени, цезием-134. Также рассматривается загрязнение радионуклидами стронция и плутония, поскольку этот аспект часто вызывает вопросы у читателя; тем не менее, их радиологическая значимость по сравнению со значимостью цезия-137 после Чернобыльской аварии мала.

B. Изотопы цезия

Поскольку Атлас посвящен в основном цезию-137, необходимо остановиться на роли двух других изотопов цезия - цезия-134 и цезия-136.

Соотношения активностей A_i значимых радиоактивных изотопов цезия в чернобыльском выбросе в окружающую среду на момент аварии составило:

$$A_{137} : A_{136} : A_{134} = 1,0 : 0,28 : 0,56$$

Каждый из этих изотопов играет определенную роль при оценке последствий Чернобыльской аварии. Если цезий-136 (его период полураспада - 12,98 дней) важен лишь при оценке внутреннего облучения по ингаляционному пути и поэтому следует учитывать его концентрации в воздухе в начальное время, то цезий-134 (более долгоживущий - 2,06 лет) в дополнение к цезию-137 играет весьма существенную роль после выпадения на земную поверхность, т.к. является значимым компонентом формирования как внешней, так и внутренней дозы облучения населения с учетом возможного загрязнения им воды и продуктов питания.

В связи с тем, что энергетический выход цезия-134 как гамма-излучателя весьма велик (1,55 МэВ/распад) и превышает почти в три раза энергетический выход цезия-137 с короткоживущим продуктом его распада барием-137 (0,56 МэВ/распад), роль этого радионуклида после того, как сформировались поля выпадений, при формировании дозы внешней и внутреннего облучения даже превышает роль цезия-137 в течение первого года после аварии. Это обстоятельство особенно важно для дальней зоны, к которой можно отнести большую часть Европы, где после быстрого распада йода-131, теллура-132 с йодом-132, бария-140 с лантаном-140 и цезия-136 оба долгоживущих изотопа цезия становятся основными дозообразующими радионуклидами.

На Таблице IV.2. представлено изменение во времени за 10 лет после аварии отношения активностей цезия-134 к цезию-137 (нижний график), с помощью которых, имея карту загрязнения местности цезием-137, можно на то же время построить карту загрязнения местности цезием-134.

Верхний график Таблице IV.2. дает представление об относительном значении обоих изотопов при формировании мощности дозы гамма-излучения после их выпадения на местность, из него следует, что более 1,5 лет цезий-134 дает больший вклад в суммарную мощность дозы от двух изотопов и даже через 6,5 лет вносит в нее 20%.

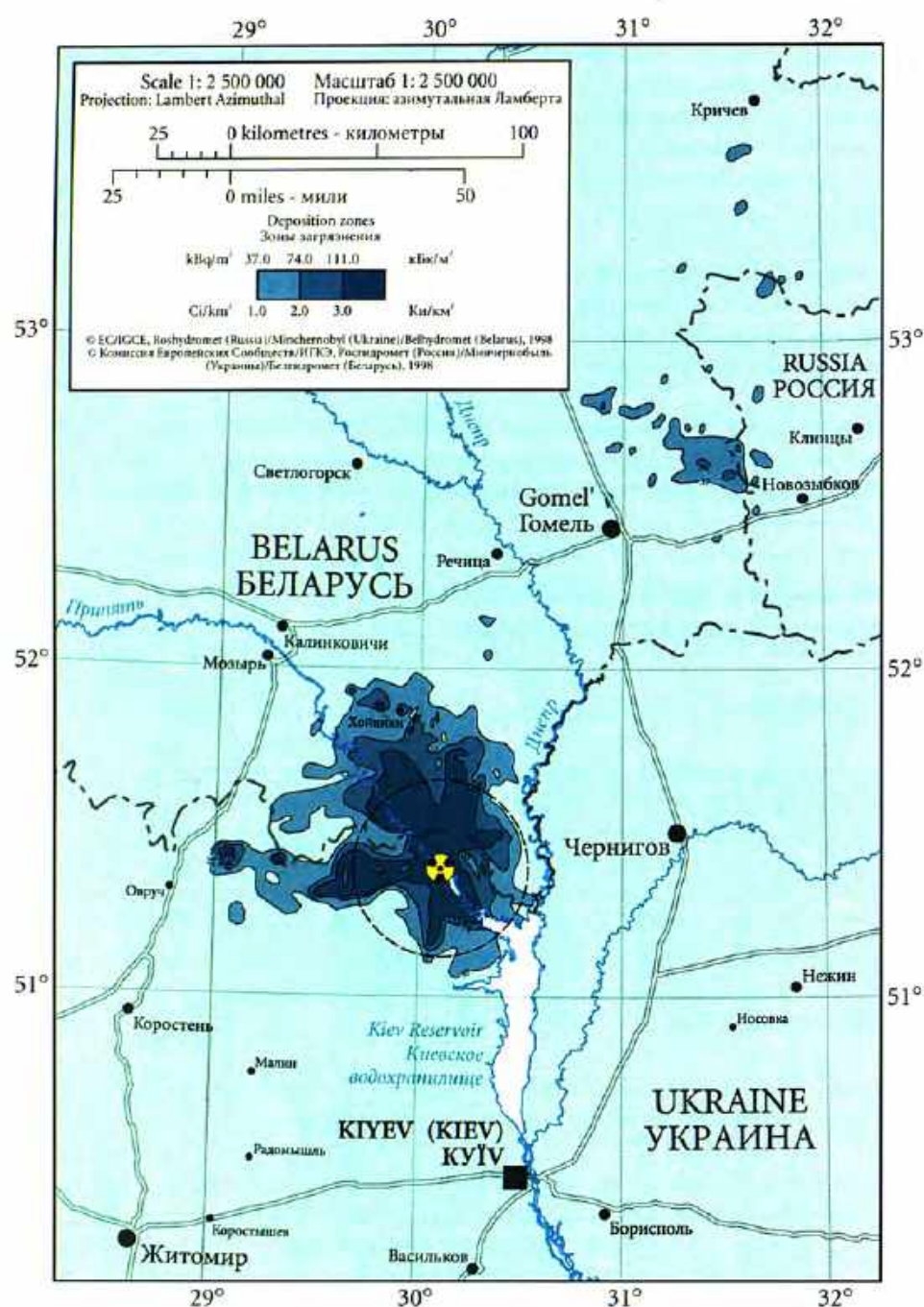
Таблица IV.2. Изменение во времени отношения активности $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ и отношения их гамма-активности (в единицах испускаемого гамма-излучения)

Время после аварии (лет)	Активность (относительные единицы)	Гамма-активность (относительные единицы)
0	0.56	1.55
1.0	0.41	1.12
3.0	0.215	0.60
6.5	0.071	0.20
10.0	0.024	0.067

because of their lower volatility and the forms in which they were released in the accident, nuclides of strontium and plutonium were deposited more rapidly from the atmosphere than those of caesium and their significance is limited to relatively small (in a European context) areas. Deposition patterns of strontium-90, plutonium-239, -240 are illustrated in Figures IV.1 and IV.2 for the region around the CNPP where these nuclides were preferentially deposited.

Fig IV.1 Distribution, in December 1989, of deposited strontium-90 released in the Chernobyl accident

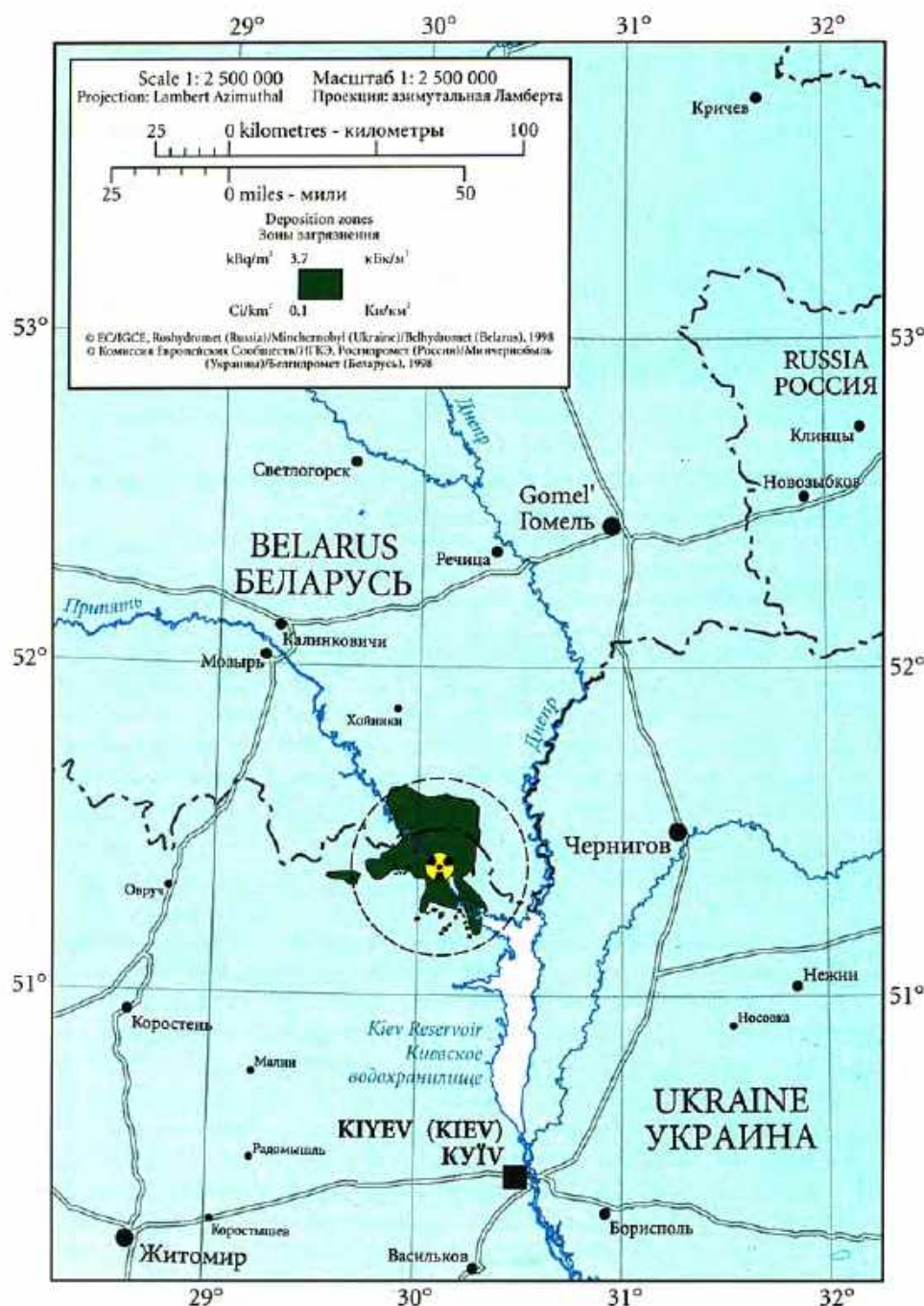
Рис. IV.1. Загрязнение (на декабрь 1989 г.) местности стронцием-90 в результате Чернобыльской аварии



Уровни загрязнения цезием-134 на 10 мая 1986 г. могут быть приблизительно оценены по картам загрязнения цезием-137, приведенным в Атласе. Это может быть сделано следующим образом: из значения суммарного загрязнения цезием-137 в определенной точке вычитается оценочная величина загрязнения цезием-137 до Чернобыльской аварии в той же точке (см. стр. 15), и полученная разность умножается на коэффициент 0,56.

Fig IV.2 Distribution, in December 1989, of deposited plutonium-239 and plutonium-240 released in the Chernobyl accident

Рис IV.2. Загрязнение (на декабрь 1989 г.) местности плутонием-239,240 в результате Чернобыльской аварии



V. The current (ie, in 1998) radiological significance of the Chernobyl deposits

A. Introduction

Man is exposed to ionising radiation from many different sources of both natural and artificial origin. Caesium-137 deposited over Europe as a result of the CNPP accident represents an additional source of exposure, the significance of which varies, *inter alia*, with the level of deposition. For perspective and to enable the reader to better appreciate the radiological significance of the caesium-137 deposits illustrated in this Atlas, current exposures from this source are compared with those from other sources. The broader question of past exposures of the population as a result of the CNPP accident is beyond the scope of this Atlas; those with an interest in this topic should refer to [18, 27-34].

Ionising radiation occurs naturally and can be produced artificially. Natural ionising radiation arises from outer space, where cosmic rays are formed, and in and on the earth, where radionuclides normally present in soil, air, water, food and the body undergo radioactive decay. Ionising radiation from artificial or man-made sources is produced in many ways, for example, in the explosion of nuclear weapons, in the production of electricity by nuclear means, by activation of stable elements, by particle accelerators and by X-ray machines.

Human exposure to radiation occurs by irradiation from sources outside the body (external exposure) or from radioactive material taken into the body through ingestion and inhalation (internal exposure). Radionuclides are characterised by the nature and energy of the radiation they emit when they decay and their half-life (ie, the period over which the initial number of atoms is reduced by a factor of two by decay). The half-life of radionuclides varies from a tiny fraction of a second to billions of years. The half-life of caesium-137, for example, is about 30 years.

The main sources of ionising radiation are described together with the contribution they make, on average, to the exposure of the population of Europe. The dose estimates are taken largely from a recent world-wide review by the United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) [27].

C. Следы выпадений стронция-90 и плутония-239,240

Карты загрязнения этими радионуклидами были включены в Атлас для полноты освещения последствий аварии, и поскольку их значимость часто вызывает интерес. Их радиологическая значимость невелика для стран Западной Европы по сравнению с цезием-137; поэтому в большинстве стран Европы картографированию загрязнения этими радионуклидами не уделялось первостепенного внимания. Дело в том, что в силу малой летучести и форм, в которых они были выброшены во время аварии, выпадение радионуклидов стронция и плутония из атмосферы проходило быстрее, чем выпадение цезия, и площади, загрязненные ими, ограничены относительно небольшими (в европейском масштабе) территориями. Карты загрязнения стронцием-90 и плутонием-239,240 приведены на рис. IV.1 и IV.2 для ближней зоны ЧАЭС, где и произошло, в основном, их выпадение.

V. Радиологическая значимость загрязнения в результате Чернобыльской аварии

A. Введение

Человек подвержен воздействию ионизирующего излучения от различных источников как естественного, так и искусственного происхождения. Загрязнение цезием-137 в Европе в результате Чернобыльской аварии представляет собой дополнительный источник радиационного воздействия, значимость которого изменяется в зависимости от уровня загрязнения. Чтобы позволить читателю оценить радиологическую значимость загрязнения цезием-137, в Атласе проведено сравнение современного радиационного воздействия этого источника с воздействиями других источников. Более широкое освещение проблемы облучения населения в результате Чернобыльской аварии в прошлом выходит за рамки задач Атласа. Читатели, интересующиеся этим вопросом, могут обратиться к [18, 27-34].

Ионизирующее излучение возникает естественным путем и может быть получено искусственно. Естественное ионизирующее излучение возникает в космическом пространстве, где формируются космические лучи, а также на Земле и в ее недрах, где в горных породах, почве, воздухе, воде, пищевых продуктах и в организмах присутствуют некоторые так называемые естественные радионуклиды. Ионизирующее

B. Natural sources

Cosmic radiation and cosmogenic radionuclides: Space is permeated by ionising radiation of various types and energies. The primary cosmic radiation, of solar and galactic origin, consists mainly of charged nuclei and extends over a very wide energy range. The secondary cosmic radiation comprises the products of interactions between the primary radiation and the earth's atmosphere. The global *per caput* annual effective dose from external cosmic radiation is about 0.38 mSv (38 mrem) but there is considerable variation with altitude (eg, about 0.27 mSv (27 mrem) at sea level, about 0.8 mSv (80 mrem) at 2.2 km (Mexico City) and about 2 mSv (200 mrem) at 3.9 km (Le Paz, Bolivia)). Cosmic rays also produce a variety of radionuclides through their interaction with elements in the atmosphere. The most significant is carbon-14 which, through its intake into the body, results in a global *per caput* annual effective dose of about 0.012 mSv (1.2 mrem).

Terrestrial radiation: Only radionuclides with half-lives comparable with the age of the earth still exist in terrestrial materials. In terms of human exposure, the principal primordial radionuclides are presented in Table V.1. The average content of uranium, thorium and potassium in the earth's crust is 2.5 10⁻⁴ %, 1.3 10⁻³ % and 2.5%, respectively, and those in soils (which are determined by the rocks from which they were formed and the processes of soil formation) are on average about a factor of two lower. There is considerable variation with rock and soil type.

Table V.1: Characteristics of important natural terrestrial radionuclides
Таблица V.1. Характеристики важных радионуклидов в земной коре

Isotope Естественн ый радионукли д	abundance (%) ⁽¹⁾ относительное содержание (%)	half-life Период полураспа да	origin происхожден ие
⁴⁰ K	0.0119	1.28 10 ⁹ a	genesis - генезис
²³² Th	100	1.41 10 ¹⁰ a	genesis - генезис
²³⁴ U	0.0055	2.45 10 ⁵ a	²³⁸ U
²³⁵ U	0.720	7.04 10 ⁸ a	genesis - генезис
²³⁸ U	99.3	4.47 10 ⁹ a	genesis - генезис

⁽¹⁾ with respect to the corresponding element

Exposure from terrestrial radiation can occur in three main ways: direct external exposure and internal exposure from the ingestion of foodstuffs and from inhalation. The *per caput* annual effective dose from external exposure is about 0.46 mSv (46 mrem) although there is considerable variation about this level depending on local geology; in some regions of the world the dose may be 10 times greater and up to about 100 times greater in specific locations. The internal dose (excluding the inhalation of radon) is about 0.23 mSv (23 mrem); potassium-40 contributes about 75% of this dose with the remainder from radionuclides in the uranium and thorium decay series. The internal dose from potassium-40 is nearly uniform in the population, whereas that from uranium and thorium may vary significantly.

The inhalation of radon in indoor air is by far the most important contributor to exposure from natural sources. Radon is a noble gas and appears as two radioisotopes: radon-222 which radiologically is the most significant (daughter nuclide of radium-226) and radon-220 which is often referred to as thoron (daughter nuclide of radium 228). Its level indoors depends on its rate of production (determined by the concentrations of radium-226) in soil and other materials and the efficacy with which it is transported to, and removed from, indoor air. These processes are influenced by many factors (eg, local geology, soil characteristics, building materials, type of construction, ventilation, etc) and hence the levels of indoor radon vary greatly. The global *per caput* annual effective dose from inhalation of radon-222 and its progeny has been estimated as 1.2 mSv (120 mrem) with a further contribution of about 0.07 mSv (7 mrem) from inhalation of thoron. In some geographic regions, however, the *per caput* dose may be 10 times the average. Local geology and the type of construction may combine to give doses several hundred times the global average in houses.

C. Artificial sources

The way in which artificial sources of radiation are produced and how they are used determine who in the population is exposed and to what extent. Those directly involved in the production and use of radiation sources are exposed in the course of their work but this aspect is not given further consideration here. The public is exposed directly (eg, from the use of radiation for diagnosis and therapy in medicine) and indirectly (eg, as a result of the release of radioactive material to the environment in both normal operation of nuclear installations and as a result of accidents).

Medical uses: Ionising radiation is widely used for both the diagnosis and treatment of injuries and disease. The *per caput* annual effective dose in Europe from diagnosis (diagnostic X-rays and nuclear medicine examinations) is about 1.1 mSv (110 mrem). There is significant variation in this average dose between European countries (ranging from about 0.4 to 1.6 mSv (40 - 160 mrem)) with even greater variation on a global scale. The *per caput* annual effective dose from therapy is about 0.7 mSv (70 mrem) (excluding the exposure of the organ or tissue being deliberately exposed in the treatment) with, again, wide variation between countries.

Atmospheric testing of nuclear weapons: Atmospheric testing of nuclear weapons began in 1945 and continued until 1980; more intensive periods of testing occurred in the 1950s and early 1960s. As a result of these tests large amounts of radioactive material were released to the atmosphere. Much of this material was dispersed in the stratosphere and was globally dispersed prior to its deposition on the surface of the earth. The complete spectrum of fission and fusion products generated in nuclear explosions was released in these tests but current deposits are essentially limited to the longer lived radionuclides, mainly caesium-137 and strontium-90 both with a half-life of approximately 30 years. The distribution, over Europe in 1986, of caesium-137 deposited from weapons' testing is illustrated in Figure III.1 (see Section III.D.1). The largest exposures occurred during the periods of testing but declined significantly once atmospheric testing effectively ceased in the 1960s. The *per caput* annual effective dose in 1998, in the 40°-50° N latitude band (where exposures are largest), is about 0.009 mSv (0.9 mrem), with caesium-137 the major contributor.

излучение от искусственных источников образуется многими способами, например, во время ядерного взрыва, при работе атомных электростанций, в результате активации стабильных элементов, с помощью ускорителей частиц, аппаратов рентгеновского излучения.

На человека воздействует радиация от источников, находящихся вне его тела (внешнее облучение) или от радиоактивного материала, попадающая в организм с пищей и при дыхании (внутреннее облучение). Радионуклиды характеризуются природой и энергией излучения, которую они испускают при распаде и полураспаде (полураспадом называют период, в течение которого начальное число атомов снижается в 2 раза). Период полураспада радионуклидов меняется от малой доли секунды до млрд. лет или больше. Например, период полураспада цезия-137 составляет 30,1 года.

Ниже описываются основные источники ионизирующего излучения, а также тот вклад, который они вносят в среднем в облучение населения Европы. Оценки доз взяты, в основном, из недавнего всемирного обзора Комиссии ООН по Воздействию ядерной радиации (UNSCEAR) [27].

B. Природные источники

Космическая радиация и космические радионуклиды. Космическое пространство пронизывается ионизирующим излучением различного происхождения и энергии. Первичная космическая радиация солнечного или галактического происхождения состоит, в основном, из протонов с энергией, изменяющейся в очень широком диапазоне. Вторичная космическая радиация включает продукты взаимодействия первичной радиации и атмосферы Земли. Глобальная годовая эффективная доза от космической радиации на одного человека составляет около 0.38 мЗв (38 бэр), однако, сильно зависит от абсолютной высоты (например, около 0.27 мЗв (27 бэр) на уровне моря, около 0.8 мЗв (80 бэр) на высоте 2.2 км над уровнем моря (г. Мехико) и около 2 мЗв (200 бэр) на высоте 3,9 км над уровнем моря (Ла Пас, Боливия). Космическое излучение в результате взаимодействия с элементами в атмосфере образует разнообразные радионуклиды. Наиболее значимым является углерод-14, который, попадая в организм, приводит к образованию годовой индивидуальной эффективной дозы около 0.012 мЗв (1,2 бэр).

Земная радиация. Только долгоживущие радионуклиды с периодом полураспада, соизмеримым с возрастом Земли, до сих пор существуют в ее веществе. В таблице V.1 представлены основные с точки зрения облучения населения радионуклиды. Среднее содержание урана, тория и калия в земной коре составляет соответственно 2,5 x 10⁻⁴ %, 1,3 x 10⁻⁴ % и 2,5 x 10⁻⁴ %. Их содержание в почве (которое определяется веществом материнских пород и процессами почвообразования) обычно ниже на один-два порядка. Наблюдаются существенные различия в зависимости от типа горных пород и почвы.

Воздействие земной радиации может осуществляться тремя путями: прямое воздействие внешнего облучения, внутреннее облучение при потреблении пищи и внутреннее облучение при вдыхании воздуха. Годовая индивидуальная эффективная доза от внешнего облучения составляет около 0.46 мЗв (46 бэр), хотя эта величина может значительно изменяться в зависимости от местных геологических условий; в некоторых регионах доза может оказаться больше до 10 раз, а для ряда ограниченных территорий - даже до 100 раз. Доза, вызванная поступлением естественных радионуклидов из воздуха, продуктов питания и воды (исключая вдыхание радона), составляет около 0.23 мЗв (23 бэр); калий-40 вместе радионуклидами уранового и ториевого рядов составляет около 75% от этой дозы. Доза от калия-40 варьирует обычно незначительно, тогда как доза от урана и тория может значительно изменяться.

Радон, вдыхаемый с воздухом в помещениях, дает наиболее существенный вклад в облучение от природных источников. Радон является инертным газом и представлен двумя изотопами: радоном-222, радиологически наиболее значимым (продукт распада радия-226) и радоном-220, который часто называют тороном (продукт распада радия-228). Уровень концентрации радона в помещениях зависит от скорости его образования, определяемой концентрацией радия-226 в почве и других материалах, а также от интенсивности, с которой он переносится в воздух помещений и удаляется из них. На эти процессы влияют многие факторы (местные геологические условия, характеристики почвы, строительные материалы, тип постройки, тип вентиляционной системы и т.д.). В зависимости от этих факторов уровни радона в помещениях сильно меняются. Глобальная индивидуальная годовая эффективная доза от вдыхания радона-222 и его дочерних продуктов оценивается в 1.2 мЗв (120 бэр) и примерно в 0.07 мЗв (7 бэр) - от вдыхания торона. Однако, в некоторых географических регионах индивидуальная доза может в 10 раз превышать среднюю. Особенности геологического строения земной коры в регионе, а также тип постройки могут оказаться причиной увеличения дозы внутри помещения в несколько сот раз по сравнению со средним значением.

C. Искусственные источники.

Определение групп населения, подвергающихся воздействию облучения от искусственных источников, и оценка степени этого облучения производится исходя из сведений о способе производства этих источников и о характере их использования. Персонал, непосредственно связанный с производством и применением источников радиации, подвергается воздействию облучения в процессе работы, но данный аспект здесь рассматриваться не будет. Население подвергается прямому воздействию (например, при использовании радиации в диагностике и терапии в медицине) и косвенному (например, в результате выброса радиоактивных материалов в окружающую среду как при штатной работе ядерных установок, так и в аварийных ситуациях).

В медицине ионизирующее излучение широко применяется как для диагностики, так и при лечении травм и заболеваний. Индивидуальная годовая эффективная доза в Европе при диагностике (рентгеновское излучение при медицинских обследованиях) составляет около 1,1 мЗв (110 бэр). Средняя доза в Европейских странах

Other sources (excluding the CNPP accident): Other sources of exposure include nuclear energy production for civil and defence purposes (including the whole fuel cycle from uranium mining, enrichment of uranium, fuel fabrication, reactor operation, reprocessing, etc), the fabrication of nuclear weapons, radio-isotope production, the re-entry into the atmosphere of satellites which are powered by nuclear means, the use of industrial sources of radiation (eg, industrial radiography, sterilisation, well logging), etc. In general, with the exception of major accidents such as at the CNPP, the contribution these sources make to the *per caput* exposure of the population is small in comparison with other sources of exposure. Typical global *per caput* annual effective doses in the late 1980s/early 1990s from nuclear energy generation and radio-isotope production were about 0.1 µSv and 0.02 µSv (0.01 and 0.002 mrem), respectively. Higher doses are received by those living in close proximity to nuclear installations; for nuclear reactors maximum doses are typically of the order of 1 to 20 µSv (0.1 to 2 mrem) and for large reprocessing plants a few hundred µSv (a few tens mrem).

Chernobyl caesium-137 deposits in 1998: For a given deposit of caesium-137 the dose received by the population will vary with a number of factors, in particular the habits of the population (eg, the time they spend indoors, the type of buildings in which they live and work, dietary habits, etc) and the characteristics of the surfaces, and especially the soils and the vegetation, on which the deposits occur. Soil characteristics can have a major influence on the transfer of deposited caesium from soil to both plants and animals; in extreme cases differences in transfer by a factor of between 10 and 100 can occur. Moreover, the doses may also be influenced by countermeasures taken after the deposition. Consequently, making reliable estimates of doses from deposited caesium is a relatively complex task that must take proper account of many local factors. Such estimates are beyond the scope of this Atlas; for those interested in this topic reference can be made to [18, 27-39].

Indicative estimates can, however, be made for perspective and to enable the reader to judge the radiological significance of the levels of caesium-137 deposition illustrated in this Atlas. Assuming that all food is obtained locally and that no countermeasures are taken, the annual average effective dose (in 1998) per unit deposit of caesium-137 (in 1986) is about 1 to 2 µSv per kBq m⁻² (3.7 - 7.4 mrem per Ci km⁻²) [35,40,41]. Values at the lower end of the range are typical for countries in Western Europe and those at the upper end of the range more typical of countries in the former Soviet Union; differences in soil characteristics are the main source of these differences. These indicative doses per unit deposit must **not** be used out of context. Their use should be limited to providing indicative average doses over relatively large geographic areas; reliable estimates of dose over smaller areas or regions must take account of local factors. This point can be exemplified by reference to some areas of the former Soviet Union where, because of local soil characteristics, the dose per unit deposit is substantially greater, about 20 µSv per kBq m⁻² (74 mrem per Ci km⁻²) [41]. These indicative estimates should also not be used where detailed and more rigorous assessments have been, and continue to be, made and published of past and future exposures on a settlement by settlement basis, as is the case in Belarus, Russia and Ukraine.

сильно меняется (от 0.4 до 1.6 мЗв, или 40-160 бэр), достигая еще больших изменений в глобальном масштабе. Индивидуальная годовая эффективная доза при терапии составляет около 0.7 мЗв (70 бэр) (исключая воздействие на органы или ткани, специально подвергшиеся терапии), значительно изменяясь по странам.

Атмосферные испытания ядерного оружия. Атмосферные испытания ядерного оружия начались в 1945 г. и продолжались до 80-х г.г.; более интенсивные периоды испытаний приходились на 50-е годы и начало 60-х годов. В результате таких испытаний в атмосферу были выброшены огромные количества радиоактивных продуктов. Прежде чем они выпали на земную поверхность, они равномерно рассеялись в стратосфере в глобальном масштабе. Во время испытаний ядерного оружия в атмосферу выбрасывались самые разнообразные продукты деления, образовавшиеся при взрыве, но современное глобальное загрязнение представлено наиболее долгоживущими радионуклидами. В основном, это цезий-137 и стронций-90, имеющие период полураспада около 30 лет. Распределение глобальных выпадений цезия-137 по территории Европы в 1986 г. показано на рис. Ш.1. (см. стр. и Раздел Ш.Г.1). Наиболее значительное облучение происходило в периоды испытаний ядерного оружия, однако, оно сильно уменьшилось с прекращением испытаний в 60-х г.г. Индивидуальная годовая эффективная доза в 1996 г. на широте 40-50° с.ш. (где уровни глобального загрязнения самые высокие) составляет около 0,009 мЗв (0,9 бэр), при этом основной вклад вносит цезий-137.

Другие источники (помимо Чернобыльской аварии). К другим источники облучения относится производство атомной энергии в мирных и военных целях (включая весь топливный цикл от добычи урана, его обогащения, изготовления топлива, работы реактора, регенерации топлива и т.д.); производство ядерного оружия; радиоизотопов; повторный вход в атмосферу спутников с ядерными двигателями при их падении; использование промышленных источников радиации (например, промышленная радиография, стерилизация, скважинный каротаж) и т.д. В целом, за исключением крупных аварий, таких, как Чернобыльская, влияние этих источников на формирование полной индивидуальной дозы не велик (по сравнению с другими источниками облучения). По состоянию на конец 80-х - начало 90-х гг. годовая индивидуальная эффективная доза, вызванная производством атомной энергии, оценивается в 0,1 мкЗв (0,01 бэр), а вызванная производством радиоизотопов - в 0,02 мкЗв (0,002 бэр). Несколько более высокие дозы получают люди, проживающие вблизи ядерных установок. Так, проживающие вблизи работающих ядерных реакторов могут получить дозу до 1-20 мкЗв (0,1-2 бэр), а проживающие вблизи крупных регенерационных установок - до нескольких сот мкЗв (нескольких десятков бэр).

Загрязнение территорий цезием-137 чернобыльского происхождения в 1996 г. Доза, получаемая населением в результате воздействия излучения цезия-137 чернобыльского происхождения, зависит от ряда факторов, в частности, от образа жизни и обычаев (от времени пребывания людей в помещениях, от типа жилищ и производственных зданий, от рациона питания и т.д.), а также от характеристик местности проживания, особенно, от типа загрязненных почв и растительности. Характеристики почвы, от которых зависит миграция цезия, могут иметь существенное влияние на его поступление из почв в растения и, далее, в организмы животных; в экстремальных случаях при одинаковом уровне загрязнения количественные различия такого перехода цезия оцениваются в десятки и сотни раз. Кроме того, на величину дозы оказывают значительное влияние контрмеры, предпринятые в послеварийный период. Отсюда следует, что надежная оценка доз является весьма сложной задачей, при решении которой должно быть учтено множество местных факторов. Проведение такого рода оценок не входило в задачи Атласа, интересующиеся этой проблемой могут обратиться к [18, 27-39].

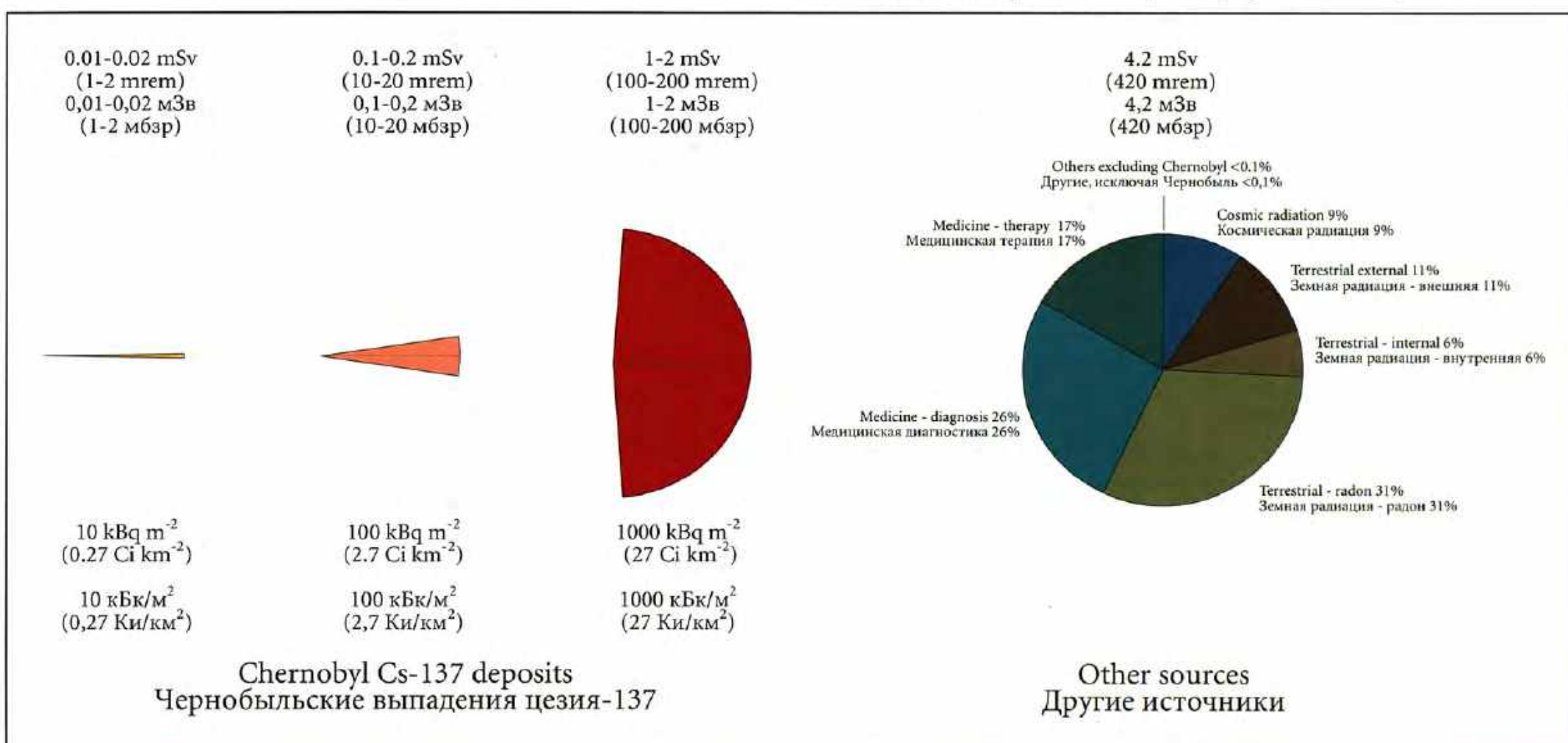
Чтобы дать возможность читателю судить о радиологической значимости загрязнения территорий цезием-137, показанного в Атласе, в перспективе будут сделаны качественные оценки его воздействия. Если предположить, что все потребляемое продовольствие получено на загрязненной территории, а контрмер не было предпринято никаких, то среднегодовая эффективная доза (по состоянию на 1998 г.) на единицу выпавшего в 1986 году цезия-137 оценивается в 1-2 мкЗв на 1 кБк/кв.м (3,7 - 7,4 бэр на Ки/кв.км) [35, 40, 41]. Более низкие величины в этом диапазоне значений характерны для стран Западной Европы, а более высокие - для некоторых регионов стран бывшего Советского Союза; главными причинами этих различий являются различия в характеристиках почв. Приведенные цифры не должны использоваться в отрыве от общего контекста. Они могут быть использованы лишь для самых приблизительных оценок дозовых нагрузок, обобщенных для достаточно больших географических регионов; более надежные и детальные оценки доз обязательно должны учитывать локальные факторы. Это можно продемонстрировать на примере отдельных районов бывшего СССР, где из-за различий почвенных характеристик доза на единицу выпадений может быть оценена существенно большей величиной, чем 20 мкЗв на 1 кБк/кв. м (74 бэр/Ки/кв. км) [41]. Такие оценки не должны также использоваться для тех районов, где проводились и продолжают проводиться и публиковаться более подробные и точные расчеты дозы облучения по населенным пунктам, как в это происходит в Беларуси, России, на Украине.

D. Comparison of indicative doses from Chernobyl caesium-137 with other sources of exposure

A comparison is made in Figure V.1 between current (ie, in 1998) indicative levels of exposure from specified levels of caesium-137 deposition (in 1986) and the *per caput* dose in Europe from other sources of exposure, both natural and artificial. For a deposition level of 100 kBq m⁻² (2.7 Ci km⁻²) (in 1986), the indicative dose is small (ie, a few percent) in comparison with the average dose from other sources of radiation, indeed small in comparison with the range of variation in the latter quantity between European countries [27,42]. Current indicative annual average doses from Chernobyl caesium-137 deposits only exceed those from other sources of exposure where the level of deposition exceeds a few thousand kBq m⁻² (several tens of Ci km⁻² - 1986 levels).

The comparisons made here between different sources of exposure need qualification. All of the doses compared are average values typical for the population of Europe. For many sources, however, the distribution of doses in a population may be very non-uniform (eg, exposure to radon, exposure to effluents from nuclear installations, therapy, etc). While this qualification should be recognised, it does not detract from the broad conclusions that can be reached from the comparison in Figure V.1 of doses from Chernobyl caesium-137 deposits and those from other sources.

Figure V.1: Comparison of indicative annual average doses in 1998 from Chernobyl caesium-137 deposits with annual *per caput* doses in Europe from other sources of radiation exposure (deposition levels are those in 1986; the doses from Chernobyl deposits are based on the assumption of no countermeasures and would be lower were food restrictions imposed).



NB: the indicative doses attributed to Caesium-137 deposits are provided solely for perspective and are only valid as averages over relatively large geographic areas; where more definitive estimates of dose exist (eg for settlements in the affected areas of Belarus, Russia and Ukraine) comparisons should be made with these doses rather than with the indicative values given here.

D. Сравнение дозовой нагрузки от цезия-137 чернобыльского происхождения с дозовыми нагрузками от других источников излучения

На рисунке V.1 приводится сравнение оценок индивидуальных доз в Европе по состоянию на 1998 г. от загрязнения территорий цезием-137 чернобыльского происхождения (в 1986 г.) и от других природных и антропогенных источников. При уровне загрязнения в 100 кБк/м² (2,7 Ки/кв. км) (в 1986 г.) доза весьма мала и составляет всего несколько процентов по сравнению со средней дозой от других источников. Она мала также и по сравнению с диапазоном изменения облучения, вызываемого антропогенными источниками в странах Европы [27,42]. Современные оценки годовых доз, обусловленных чернобыльским цезием-137, превышают оценки доз от других источников только в том случае, когда уровни загрязнения 1986 года превышают несколько тысяч кБк/м² (несколько десятков Ки/кв. км).

Приведенные здесь сравнения различных источников облучения нуждаются в дополнительных оговорках. Все сравниваемые величины доз представляют собой обобщенные величины, типичные для населения Европы в целом. Однако, распределение дозовых нагрузок, обусловленных многими источниками, может быть чрезвычайно неоднородным (например, воздействие радона, воздействие ядерных отходов, медицина и т.п.). Хотя эти оговорки необходимы, они не уменьшают значения важных выводов, которые могут быть получены из сравнения доз, формируемых от загрязнения цезием-137 чернобыльского происхождения, с дозами от других источников (рисунок V.1).

Рисунок V.1. Сравнение средних годовых доз от загрязнения цезием-137 чернобыльского происхождения в 1998 году и годовых индивидуальных доз от других источников облучения в Европе (уровни загрязнения на 1986 год, дозы облучения от чернобыльского загрязнения основаны на допущении, что контрмеры не предпринимались, они должны быть ниже там, где проводился контроль за продуктами питания).

Обратите внимание, что дозы, относящиеся загрязнению цезием-137, приводятся только для ознакомления и могут рассматриваться только как средние для относительно крупных географических регионов; для тех районов, где проводились более точные расчеты дозы (например, для населенных пунктов Беларуси, России и Украины), следует проводить сравнение именно с этими дозами (а не приведенными на рисунке).

VI References

- [1] European Commission, "Proc. of Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl, Luxembourg, 1-5 October 1990", EUR report 13574, 2 Vol., Office of Official Publications, Luxembourg (1991)
- [2] "Summary Report of International Panel on Nuclear Security on the Meeting for Inspecting the Causes and Consequences of the Chernobyl Accident", Vienna, IAEA publication, Safety Series, N 75 - INSAG -1 (1987)
- [3] A A Abagyan, Yu A Izrael, L A Ilyin, V A Legasov *et al.*, "Information on the accident at the Chernobyl NPP and its consequences, prepared for IAEA", Atomic Energy, Vol. 61, 5, pp. 301-320 (1986) (in Russian)
- [4] "Chernobyl. Five difficult years. A collection of publications", Moscow: Izd. AT - 381 pp. (1991) (in Russian)
- [5] V G Asmolov, V A Legasov, S I Avdyushin, Yu A Izrael, V N Petrov *et al.*, "The Chernobyl NPP accident: a year later."- Atomic Energy, Vol. 64, No. 1, pp. 3-23 (1988) (in Russian)
- [6] A N Kiselev, A I Surin., K P Checherov, "Results of after accident investigations of the Chernobyl NPP Unit 4 destroyed reactor - Atomic Energy, Vol. 80, No. 4, pp. 240-247 (1996) (in Russian)
- [7] Yu A Izrael, S M Vakulovsky, V A Vetrov, V N Petrov, F Ya Rovinsky and E D Stukin, "Chernobyl: radioactive contamination of natural environments", Ed. Yu. A. Izrael, L. Gidrometeoizdat, 296 pp. (1990) (in Russian)
- [8] Yu A Izrael, V N Petrov, S I Avdyushin, N K Gasilina, F Ya Rovinsky, V A Vetrov and S M Vakulovsky, "Radioactive contamination of natural environments in the zone of the Chernobyl NPP", Meteorology and Hydrology, No. 2, pp. 5-18 (1987) (in Russian)
- [9] Yu A Izrael, "Radioactive fallout after nuclear explosions and accidents", St-Petersburg, Progress-Pogoda, 356 pp. (1996) (in Russian)
- [10] S N Begichev *et al.*, "Radioactive releases due to the Chernobyl accident. Fission product transport processes in reactor accidents", ed. J T Rogers, Hemisphere (1990)
- [11] L Devell, S Guntay and D A Powers, "The Chernobyl reactor accident source term: development of a consensus view", CSNI report of NEA/OECD (1995)
- [12] Yu P Buzulukov and Yu L Dobrynin, "Release of radionuclides during the Chernobyl accident". IN "The Chernobyl papers", S E Merwin and M I Baolonov, Eds., Research Enterprises, Richland WA, Vol. 1, pp. 3-21 (1993)
- [13] A Borovoy, "Characteristics of the nuclear fuel of power unit No. 4 of Chernobyl NPP, IN "Radioecological consequences of the Chernobyl accident", Ed. by Kryshev, Nuclear Society International, Moscow, pp. 9-20 (1992)
- [14] "Chernobyl, Ten Years On. Radiological and health impact. An appraisal by the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health", NEA, November 1995, modified figure from : Summary report on the post accident review meeting on the Chernobyl accident, Safety Series No. 75, INSAG-1, IAEA, Vienna (1996)
- [15] Yu V Sivinzev and A A Hrulev, "Assessment of radioactive release during the Chernobyl NPP reactor 4 accident in 1986", Atomic Energy, Vol. 78, No. 6, pp. 403-417 (1995) (in Russian)
- [16] EC/IAEA/WHO, "Proc. of an International Conference: One Decade after Chernobyl - Summing up the Consequences of the Accident." Vienna, 8-12 April 1996, pp. 319-362, IAEA Vienna (1996)
- [17] Yu A Izrael, "Chernobyl: past and forecast for future", Pravda N19 (March 1989) (in Russian)
- [18] International Advisory Group, "The International Chernobyl Project: Assessment of the Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures", Technical Report, IAEA, Vienna (1991)
- [19] I I Matveenko, O M Zhukova and M G Germenchuk, "Dynamics of radiation and rehabilitation of the environment of Belarus territory after the catastrophe on Chernobyl NPP. Nuclear and hazardous waste management spectrum 94", American Nuclear Society, Inc. (Atlanta, GA, Illinois 60525 USA), p. 2419-2424 (1994)
- [20] M G Germenchuk, I I Matveenko, and O M Zhukova, "Assessment of radiation situation on the territory of the Republic of Belarus under the pollution conditions after the Chernobyl nuclear power plant accident with the use of GIS. RECASS. Proc. of The Canadian Conference on GIS-1994", Vol. 2 Ottawa, Canada, pp. 1269-1280 (1994)
- [21] Council Regulation (EEC) No 1707/86 of 30/5/1986 on the condition governing imports of agricultural products originating in third countries following the accident at the Chernobyl nuclear power station, Official Journal of the European Communities, L146 of 31/5/1986, Luxembourg, amended in Council Regulation (EEC) No 737/90 of 22/3/1990, Official Journal of the European Communities, L82 of 29/3/1990, Luxembourg
- [22] Council Regulation (Euratom) No 3954/87 of 22/12/1987 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and of feedingstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency, Official Journal of the European Communities, L146 of 30/12/1987, Luxembourg
- [23] Food and Agricultural Organisation and World Health Organisation of the United Nations, Codex Alimentarius, General Requirements, section 6.1: Guideline levels for radionuclides in foods following accidental nuclear contamination, Joint FAO-WHO food standard programme, Rome (1991)
- [24] Results of studying and experience of liquidating the consequences of an accidental terrain contamination by uranium fission products, Ed. A I Burazyan. M., Energoatomizdat, 144 pp. (1990) (in Russian)
- [25] L I Boltneva, Yu A Izrael, I M Nazarov *et al.* "Global contamination by Cs-137 and Sr-90 and exposure dose over the USSR territory". Atomic Energy, Vol. 42, 355 pp. (1977) (in Russian)
- [26] Report of the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (1962)
- [27] United Nations, Ionising Radiation: Sources and Biological Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations sales publication E.94.IX.2, United Nations, New York (1994)
- [28] "United Nations, Ionising Radiation: Sources and Biological Effects", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations sales publication E.88.IX.7, United Nations, New York (1988)

VI Библиографические ссылки

- [1] Еврейская Комиссия, «Труды семинара по сравнительному анализу воздействия на окружающую среду радионуклидов, выброшенных во время трех крупномасштабных аварий: Кыштым, Виндскейл, Чернобыль, Люксембург, 1-5 октября 1990 г.» отчет EUR 13574, 2 тома, Отдел публикаций ЕК, Люксембург (1991) (на англ. языке)
- [2] «Краткий отчет международной группы по ядерной безопасности на заседании, посвященном рассмотрению причин и последствий Чернобыльской аварии», № 75 - INSAG -1 (1987) (на англ. языке)
- [3] А.А.Абагян, Ю.А.Израэль, Л.А.Ильин, В.А.Легасов и др. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ.- Атомная энергия, т.61, вып.5, с.301-320 (1986)
- [4] Чернобыль. Пять трудных лет. Сборник трудов. М: ИздАТ - 381 с. (1991)
- [5] В.Г.Асмолов, В.А.Легасов, С.И.Авдюшин, Ю.А.Израэль, В.Н.Петров и др. Авария на Чернобыльской АЭС: год спустя - Атомная энергия, т.64, вып.1, с. 3-23 (1988)
- [6] А.Н.Киселев, А.И.Сурина, К.Р.Чечеров. Результаты исследования аварийного разрушения 4-ого реакторного блока Чернобыльской АЭС - Атомная энергия, т.80, вып.4, с. 240-247 (1996)
- [7] Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А., Петров В.Н., Ровинский Ф.Я., Стукин Е.Д. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред. Под ред.Ю.А.Израэля. - Л: Гидрометеиздат, 296 с. (1990)
- [8] Ю.А.Израэль, В.Н.Петров, С.И.Авдюшин, Н.К.Гасилина, Ф.Я.Ровинский, В.А.Ветров, С.М.Вакуловский. Радиоактивное загрязнение природных сред в районе Чернобыльской АЭС. - Метеорология и гидрология, N2, с.5-18 (1987)
- [9] Ю.А.Израэль. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. СПб.: Прогресс-Погода, 356 с. (1996)
- [10] С. Н. Бегичев и др., «Радиоактивные выбросы во время Чернобыльской аварии. Процессы переноса продуктов распада при авариях реакторов», ред. Дж. Т. Роджерс, Эмисфер (1990) (на англ. языке)
- [11] Л. Девелл, С. Гонтей и Д. А. Пауэрс, «Основновополагающие данные аварии Чернобыльского реактора: разработка согласованной точки зрения» отчет CSNI NEA/OECD (1995) (на англ. языке)
- [12] Ю. П. Бузулуков и Ю. Л. Добрынин, «Выпрос радионуклидов во время Чернобыльской аварии». В издании С. Е. Мервина и М. И. Балонова «Чернобыльские доклады», Научно-исследовательские предприятия, Ричленд, штат Вашингтон, том 1, с 3-21 (1993) (на англ. языке)
- [13] А Боровой, «Характеристики ядерного топлива реактора №4 Чернобыльской АЭС» в Радиоэкологические последствия Чернобыльской аварии», ред. Крышева, Международное ядерное общество, Москва, с 9-20 (1992) (на англ. языке)
- [14] «Чернобыль, десять лет спустя. Радиологические и медицинские последствия. Оценка Комитета по Радиационной защите и Здравоохранению Ассоциации по Ядерной Энергии (NEA)» NEA, ноябрь 1995 г., измененная иллюстрация из: Краткий отчет заседания по оценке ситуации после аварии на ЧАЭС, серия «безопасность» №75, INSAG-1, МАГАТЭ, Вена (1996) (на англ. языке)
- [15] Ю.В.Сивинцев, А.А.Хрулев. Оценка радиоактивного выброса при аварии 1986 г. на 4-ом энергоблоке Чернобыльской АЭС. Атомная энергия, т.78, вып. 6, с. 403-417 (1995)
- [16] ЕК/МАГАТЭ/ВОЗ, «Труды Международной конференции: Десять лет после Чернобыля – Резюмирование последствий аварии» Вена, 8-12 апреля 1996 г., с 319-362, МАГАТЭ Вена (1996) (на англ. языке)
- [17] Ю.А.Израэль. Чернобыль: прошлое и прогноз на будущее. Газета «Правда», N19 (Март 1989)
- [18] Международная консультативная группа, Международный Чернобыльский проект: Оценка радиологических последствий и защитных мероприятий, тех. отчет, МАГАТЭ, Вена (1991) (на англ. языке)
- [19] И. И. Матвеевко, О. М. Жукова и М. Г. Герменчик, «Динамика радиации и экологическая реабилитация территории Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС. Спектр управления «94» ядерными и опасными отходами», Американское ядерное общество (Атланта, штат Джорджия, Иллинойс 60525 США), с 2419-2424 (1994) (на англ. языке)
- [20] М. Г. Герменчик, И. И. Матвеевко и О. М. Жукова, «Оценка радиологической ситуации на территории Республики Беларуси в условиях загрязнения после аварии на ЧАЭС используя ГИС (GIS RECASS) Канадская конференция по ГИС – 1994», труды том 2, Оттава, Канада, с 1269-1280 (1994) (на англ. языке)
- [21] Постановление Совета (ЕЭС) №1707/86 от 30/5/1986 об условиях импорта сельскохозяйственной продукции, произведенной третьими странами после аварии на Чернобыльской АЭС. Официальный журнал Европейских Сообществ, L146 от 31/5/1986, Люксембург, исправлено в постановлении Совета (ЕЭС) №737/90 от 22/3/1990, Официальный журнал Европейских Сообществ, L82 от 29/3/1990, Люксембург (на англ. языке)
- [22] Постановление Совета (Евратом) №3954/87 от 22/12/1987 определяющее максимально допустимые уровни радиоактивного загрязнения пищевых продуктов и кормов после ядерной аварии или при любой другой радиологической чрезвычайной ситуации, Официальный журнал Европейских Сообществ, L146 от 30/12/1987, Люксембург (на англ. языке)
- [23] ФАО, Всемирная организация здравоохранения ООН, Пищевой кодекс, Основные требования, раздел 6.1: Основовоплагающие уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах после аварийного радиоактивного загрязнения, Совместная программа ФАО-ВОЗ по пищевым стандартам, Рим (1991) (на англ. языке)
- [24] Результаты изучения и опыт ликвидации последствий аварийного загрязнения местности продуктами распада урана. Под ред.А.И.Буразяна. М.: Энергоатомиздат, 144 с. (1990)
- [25] Л.И.Болтнева, Ю.А.Израэль, И.М.Назаров и др. «Глобальное загрязнение 137Cs и 90Sr и доза внешнего облучения на территории СССР», Атомная энергия, т.42, с.355-361 (1977)
- [26] Отчет Научного Комитета ООН по воздействию атомной радиации (UNSCEAR) (1962) (на англ. языке)

- [29] Morrey, M, Brown, J, Williams, J A, Crick, M J, Simmonds, J R and Hill, M D, "A preliminary assessment of the radiological impact of the Chernobyl accident on the population of the European Communities", EUR report 11523, EC, Office of Official Publications, Luxembourg (1988)
- [30] N.S. Babaev, V F Demin, L A Ilyin, V A Knizhnikov, I I Kuzmin, V A Legasov and Yu V Sivintsev, "Nuclear Energetics, a man and the environment", Ed. A.P. Alexandrov, Moscow, Energoatomizdat, 184 pp. (1984) (in Russian)
- [31] "Methods and recommendations on calculating external and internal dose rates for population living on the territories affected by the CNPP accident. Techniques collection.", Ed. K I Gordeev, M., The USSR Ministry of Health, Institute for Biophysics, 72 pp. (1991) (in Russian)
- [32] Yu I Moskaev, "Future consequences of ionising radiation effects", Moscow, Medicine, 464 pp. (1991) (in Russian)
- [33] Yu I Moskaev, "Radiobiology of incorporated radionuclides", Moscow, Energoatomizdat, 264 pp. (1989) (in Russian)
- [34] U Yu Margulis, "Atomic energy and radiation safety", 2nd ed., Moscow, Energoatomizdat, 224 pp. (1988) (in Russian)
- [35] European Commission, Joint Study Project No 5: Pathway Analysis and Dose Distribution, EUR report 16541 EN, (Ed. P Jacob and I Likhtarev), EC, Office of Official Publications, Luxembourg (1995)
- [36] R M Aleksakhin, "Nuclear energy and the biosphere", Moscow, Energoatomizdat, 220 pp. (1982) (in Russian)
- [37] R M Kogan, I M Nazarov and Sh D Fridman, "Principals of environmental gamma-spectrometry", 3rd ed. Rev. and suppl., Moscow, Energoatomizdat, 233 pp. (1991) (in Russian)
- [38] "Techniques and some results of air gamma-survey of the radioactive contamination over European Russia", Ed. Sh D Fridman and A N Pegoev, St.-Petersburg, Gidrometeoizdat, pp. 159-206, 243-265 (1994) (in Russian)
- [39] "Manual on establishing the environmental monitoring in NPP locations", Ed. K P Makhonko, Leningrad, Gidrometeoizdat, 264 pp. (1990) (in Russian)
- [40] Private communication, B. Bennett and A Bouville, UNSCEAR Secretariat, Vienna, (March 1996)
- [41] Private communication, P Jacob, GSF - Institut für Strahlenschutz, Oberschleibheim, Germany, (March 1996)
- [42] European Commission, "Radiation Atlas: Natural Sources of Ionising Radiation in Europe", EUR report 14470, (Ed. B M R Green, J S Hughes and P R Lomas), EC, Office of Official Publications, Luxembourg, (1993)
- [27] «Организация Объединенных Наций, Ионизирующая радиация: источники и биологическое воздействие.» Научный Комитет ООН по воздействию атомной радиации, Отчет 1993 г. Генеральной Ассамблее, с научными приложениями. Публикация ООН для продажи E.94.IX.2, ООН, Нью-Йорк (1994) (на англ. языке)
- [28] «Организация Объединенных Наций, Ионизирующая радиация: источники и биологическое воздействие.» Научный Комитет ООН по воздействию атомной радиации, Отчет 1988 г. Генеральной Ассамблее, с научными приложениями. Публикация ООН для продажи E.88.IX.7, ООН, Нью-Йорк (1988) (на англ. языке)
- [29] М. Моррей, Дж. Браун, Дж. А. Вильямс, М. Дж. Крик, Дж. Р. Симмондс и М. Д. Хилл, «Предварительная оценка радиологического воздействия Чернобыльской аварии на население Европейских Сообществ», отчет EUR 11523, ЕК, Отдел официальных публикаций, Люксембург (1988) (на англ. языке)
- [30] Н.С.Бабаев, В.Ф.Демин, Л.А.Ильин, В.А.Книжников, И.И.Кузьмин, В.А.Легасов., Ю.В.Сивинцев. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда /Под ред.акад.А.П.Александрова, М.:Энергоатомиздат, 184 с. (1984)
- [31] Методические принципы и рекомендации для расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего на территории, подвергшейся воздействию в результате аварии на ЧАЭС. Сборник методических материалов. /Под ред.К.И.Гордеева, М: Минздрав СССР, Институт биофизики, 72 с. (1991)
- [32] Ю.И.Москалев Отдаленные последствия воздействия ионизирующего излучения. М.:Медицина, 464 с. (1991)
- [33] Ю.И.Москалев Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. М.: Энергоатомиздат, 264 с. (1989)
- [34] У.Я.Маргулис Атомная энергия и радиационная безопасность, 2-е изд., М.:Энергоатомиздат, 224 с. (1988)
- [35] Европейская Комиссия, Совместный научный проект №5: Анализ путей переноса и дозовое распределение, отчет EUR 16541 EN, (ред. П. Яков и И. Лихтарев), ЕК, Отдел официальных публикаций, Люксембург (1995) (на англ. и русском языках)
- [36] Р.М.Алексахин. Ядерная энергия и биосфера. М.: Энергоатомиздат, 220 с. (1982)
- [37] Р.М.Коган., И.М.Назаров., Ш.Д.Фридман. Основы гамма-спектрометрии природных сред.- 3-е изд. перераб. и доп., М., Энергоатомиздат, 233 сс... (1991)
- [38] Методика и некоторые результаты авиационной гамма-съемки радиоактивного загрязнения территории европейской части России /Под ред.Ш.Д.Фридмана и А.Н.Пегоева, Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, с.159-206, 243-265 (1994)
- [39] Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС /Под ред.К.П.Махонько, Ленинград: Гидрометеоздат, 264 с (1990)
- [40] Конфиденциальное сообщение, Б. Беннетт и А. Бувилль, Секретариат Научного Комитета ООН по воздействию атомной радиации (UNSCEAR) Вена, март 1996 (на англ. языке)
- [41] Конфиденциальное сообщение, П. Яков, GSF - Institut für Strahlenschutz, Обершляйсхайм, Германия (март 1996) (на англ. языке)
- [42] Европейская Комиссия, Атлас радиации: Естественные источники ионизирующей радиации в Европе, EUR 14470, (ред. Б. М. П. Грин, Дж. С.Хьюг и П. Р. Ломас), ЕК, Отдел официальных публикаций, Люксембург, (1993) (на англ. языке)

APPENDIX A THE METEOROLOGICAL SITUATION DURING THE ACCIDENT

Radioactive material released in the accident was widely dispersed and deposited over large areas of the earth's surface. The more volatile elements in the reactor core (e.g., iodine, tellurium and caesium) were dispersed over many hundreds and thousands of kilometres, according to the meteorological conditions that prevailed during the accident.

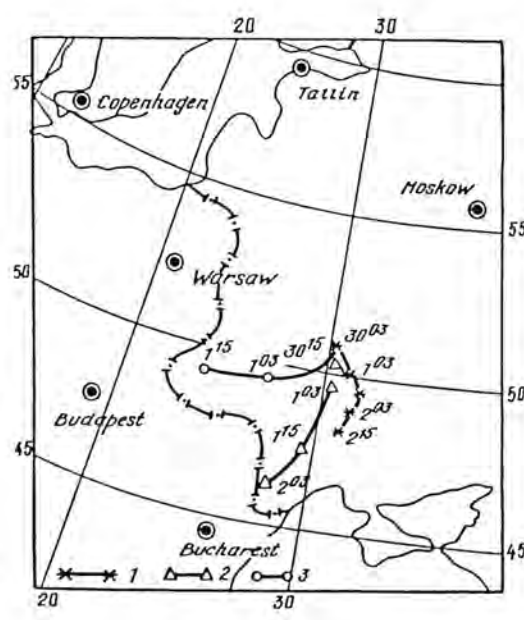
The meteorological situation during the release and in the subsequent dispersion of material was complex. During the first hours of the release on the 26 April, material was transported mainly to the west, then to the north-west (see Figure A.1). In the following days the wind shifted again, resulting in the transport of radioactive material to the north-east. From the 30 April, released material was transported in a southerly direction (see Figure A.2). Consequent upon the long duration of the release (about 10 days) and the changing meteorological situation (especially the wind direction) material was dispersed and deposited over much of Europe. The territories of Belarus, Ukraine and the European part of Russia were most affected. However, areas far removed from Chernobyl also experienced relatively high levels of deposition due, largely but not solely, to the released material encountering precipitation as it passed over these areas.

It is beyond the scope of this Annex to provide a comprehensive description of the actual release and how material was dispersed and deposited over the territory of Europe and beyond. This would require a detailed presentation of the chronology of the release and its main characteristics (e.g., magnitude, composition, height, physico-chemical form, etc.) and of the meteorological conditions it experienced (from a local to European scale), both during the release and during the period before it was essentially dispersed from the air masses above Europe. Nonetheless, it is possible to illustrate some of the key meteorological features that existed during the release and in its subsequent transport, in particular those which had a major influence on the deposition of material.

Trajectories of particle transport at different heights in the atmospheric boundary layer are shown in Figures A.3 and A.4 for different periods of time after the start of the accident. The variations in the mean wind direction and speed are illustrated in Figure A.5 for two heights in the atmosphere and at various locations (e.g., Kiev, Gomel, etc.). On 26 April, 1986, the area around Chernobyl was situated in a low pressure gradient with weak surface winds of variable direction. At a height of between 700 m and 1500 m (the effective height at which material was initially released in the accident) a south-easterly flow with wind velocities of 5-10 m.s⁻¹ transported the radioactive cloud to the north-west. This was confirmed by environmental measurements and the constructed trajectories of air masses at this height. Material released later on the 26 April was also largely transported to the north-west (in the 700 m to 1500 m layer of the atmosphere) with a subsequent turn to the north. In the layer close to the surface, material was initially transported westward and north-westward and reached the Polish border late on 26 April /early on 27 April. During the following days (27 to 29 April) material in the boundary layer up to 200 m was transported north and north-eastward from the plant. The release continued until 7 to 8 May under northerly winds resulting in the transport and deposition of material in a generally southerly direction. The effective height at which material was released to the atmosphere in the later stages of the accident was, in general, much lower than that of the initial release. The temporal pattern of released material is illustrated in Figure II.3.

Fig.A.1 Trajectories of particle transport on 26 April, 1986 at 03.00 Moscow time:
1 - ground surface; 2 - height - 0.7 km;
3 - 1.5 km; 4 - 3.0 km [A4].
Рис.А.1. Траектории переноса радионуклидов 26 апреля 1986 г. в 03.00 по московскому времени:
1 - на уровне земной поверхности;
2 - на высоте 0,7 км; 3 - 1,5 км; 4 - 3, км.

Fig.A.2 Trajectories of particle transport on 30 April, 1986 at 03.00 Moscow time:
1 - ground surface; 2 - height - 0.7 km;
3 - 1.5 km [A4].
Рис.А.2. Траектории переноса радионуклидов 30 апреля 1986 г. в 03.00 по московскому времени:
1 - на уровне земной поверхности;
2 - на высоте 0,7 км; 3 - 1,5 км.



ПРИЛОЖЕНИЕ А МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ ВО ВРЕМЯ АВАРИИ

Радионуклиды, выброшенные во время аварии, рассеялись в атмосфере и загрязнили обширные территории. В зависимости от метеоусловий, преваляровавших во время аварии, наиболее летучие элементы, содержащиеся в реакторе (например, йод, теллур и цезий), распространились на сотни и тысячи километров.

Метеорологическая ситуация в момент выброса была сложной. В течение первых часов выброса 26 апреля перенос осуществлялся, главным образом, в западном, а затем - в северо-западном направлении (см. рис.А.1). Изменение направления ветра в последующие дни привело к переносу радионуклидов в северо-восточном направлении. С 30 апреля перенос происходил преимущественно к югу (см. рис. А.2). Вследствие продолжительности выброса (около 10 дней) и изменения метеоусловий произошло загрязнение значительных территорий в Европе. Больше всего пострадали территории Беларуси, Украины и европейской части России. Вместе с тем, ряд территорий, еще более удаленных от ЧАЭС, также оказался загрязненным. Причиной этого, как правило, являлись осадки, выпавшие в момент прохождения радиоактивного облака.

В задачи данного приложения не входит подробное описание выброса, переноса радионуклидов и их выпадений на территории Европы и вне ее. Это потребовало бы представления хронологии выброса и его основных характеристик (размеров выброса, его состава, высоты, физико-химических форм радионуклидов и т.д.), а также специального изучения метеорологических условий (как в локальном, так и в европейском масштабе). Тем не менее, остановимся на некоторых основных метеорологических характеристиках периода аварийного выброса и его последующего рассеивания, оказавших первостепенное влияние на формирование поля радиоактивного загрязнения.

На рис.А.3 и А.4 показаны траектории переноса радионуклидов с воздушными массами на разных высотах пограничного слоя атмосферы для различных периодов времени после начала выброса. На рис.А.5 показаны изменения направления и скорости ветра для двух высот в ряде пунктов наблюдений (г.Киев, г.Гомель и т.д.). 26 апреля 1986 г. на территории вокруг ЧАЭС наблюдался низкий градиент давления со слабыми приземными ветрами переменных направлений. На высоте 700-1500 м (эффективная высота начального аварийного выброса) радиоактивное облако переносилось в северо-западном направлении с атмосферным потоком, имеющим скорость 5-10 м/с. Это подтверждено соответствующими измерениями метеопараметров и построенными траекториями переноса воздушных масс для этой высоты. Радионуклиды, выброшенные позже 26 апреля, также переносились в основном на северо-запад в слое атмосферы 700-1500 м, затем направление переноса изменилось на северное. Непосредственно в приземном слое перенос радионуклидов происходил сначала в западном и северо-западном направлениях, и в ночь с 26 на 27 апреля радиоактивное облако находилось в районе советско-польской границы. В течение следующих дней 27-29 апреля радионуклиды в приземном слое (до 200 м) перемещались к северу и северо-востоку от ЧАЭС. Выброс продолжался вплоть до 7-8 мая, при этом преобладали северные ветры, вызвавшие перенос и выпадение радиоактивных веществ преимущественно в южном направлении. Эффективная высота выброса на более поздней стадии аварии была значительно ниже высоты первоначального выброса. Формирование полей радиоактивного загрязнения во времени показано на рис. II.3

Fig.A.3 Trajectories of particle transport at height of 0,7 km:
1 - from 15.00 on 26 April; 2 - from 03.00 on 27 April; 3 - from 15.00 on 27 April;
4 - from 03.00 on 28 April; 5 - from 03.00 on 29 April [A4].
Рис.А.3. Траектории переноса радионуклидов на высоте 0,7 км:
1 - 26 апреля после 15.00; 2 - 27 апреля после 03.00; 3 - 27 апреля после 15.00;
4 - 28 апреля после 03.00; 5 - 29 апреля после 03.00.

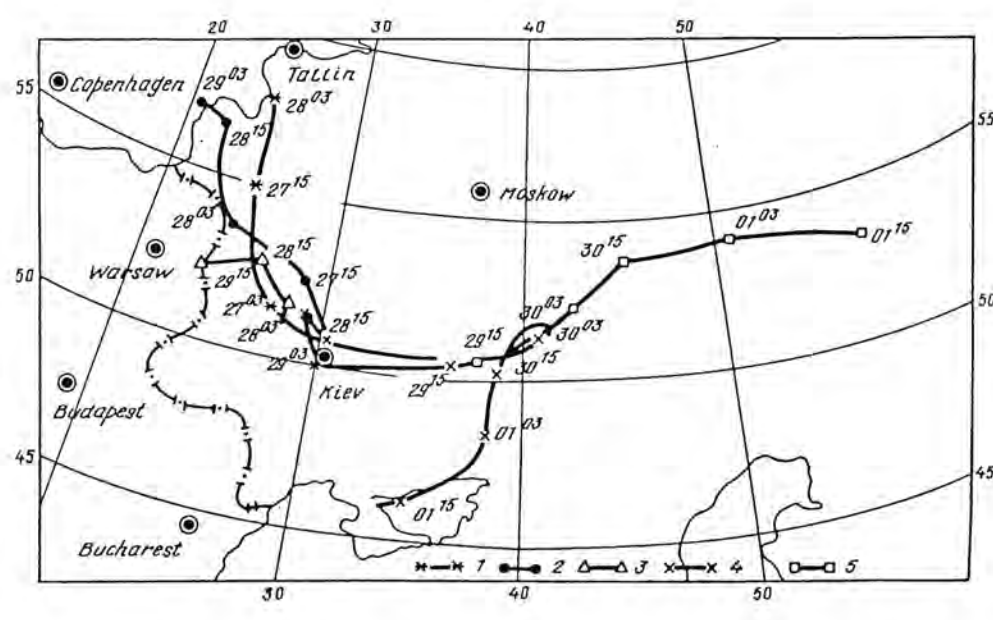
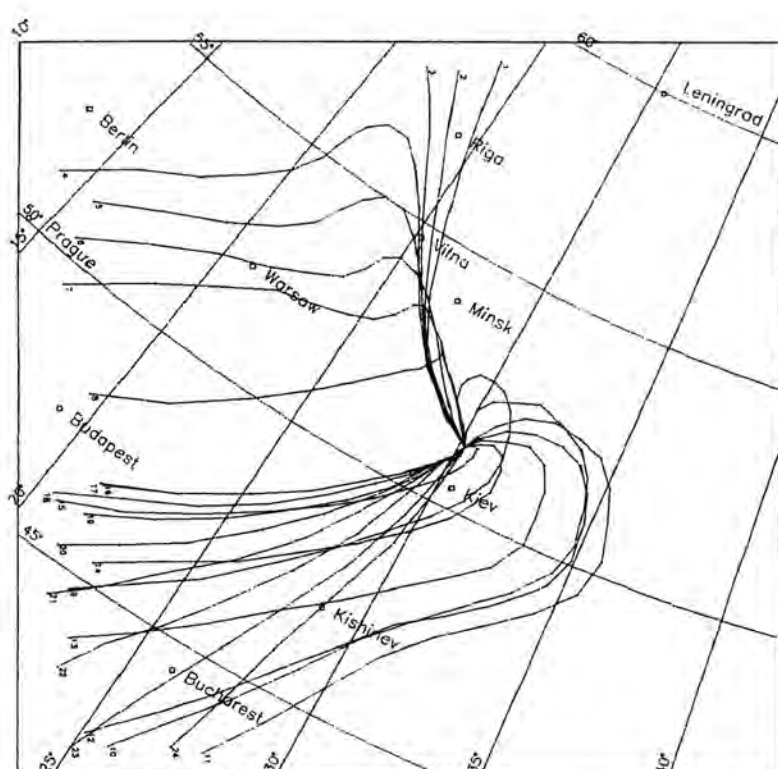


Fig.A.4 Trajectories of particle transport from the power plant region at the level of 925 hPa by 6-hour intervals from 24 April to 1 May 1986.

The trajectories 1-4 : transport of initial release of particles on 26 April; Trajectories 5-8 on 27 April; Trajectories 21-24 on 1 May 1986 [A4].

Рис.А.4. Траектории переноса радиоактивности из района аварийного реактора на высоте 925 гПа с 6-часовыми интервалами с 24 апреля по 1 мая 1986 г. Траектории 1-4: 26 апреля; траектории 5-8 - 27 апреля; траектории 21-24 - 1 мая 1986 г. [А4].



The meteorological situation for the period from 26 April till 11 May is summarised in Plates 61 to 64. Twelve hourly weather maps [A1] are presented together with the total daily precipitation [A2,A3]. The precipitation maps were processed from original measurements. The starting times of measurements of daily precipitation in the respective countries, however, were not identical and differences are tabulated below: these should be taken into account in interpreting the data presented.

Table A.1 Summary of differences in starting times of daily precipitation measurements
Таблица А.1. Различия во времени начала измерений суточной суммы осадков

Starting hour of measurement (UTC) Время начала измерений (UTC)	Country Страна
5	Bulgaria, Czech Republic, Slovak Republic, Switzerland Болгария, Чехия, Словакия, Швейцария
6	Austria, Belgium, Denmark, Germany, Finland, France, Greece, Hungary, Luxembourg, Poland, Romania, Sweden Австрия, Бельгия, Дания, Германия, Финляндия, Франция, Греция, Венгрия, Люксембург, Польша, Румыния, Швеция
8	Netherlands - Нидерланды
9	Iceland, Ireland, Italy, United Kingdom - Исландия, Ирландия, Италия, Великобритания

[A1] European Meteorological Bulletin, Amtsblatt des Deutschen Wetterdienstes, ISSN 0341-2970, Offenbach am Main (in German)

[A2] G Graziani and N Zarimpas, "Meteorological data related to the Chernobyl accident", EUR report 11890, EC, Office of Official Publications, Luxembourg (November 1988) (in English)

[A3] Yu A Izrael, S M Vakulovski, V A Vetrov, V N Petrov, F Ya Rovinsky and E D Stukin, "Chernobyl: Radioactive contamination of the environment", Ed. Yu. A. Izrael, Leningrad, Gidrometeoizdat, pp. 233-265, (1990) (in Russian)

[A4] Yu A Izrael, S M Vakulovsky, V A Vetrov, V N Petrov, F Ya Rovinsky and E D Stukin, "Chernobyl: radioactive contamination of natural environments", Ed. Yu. A. Izrael, L. Gidrometeoizdat, 296 pp. (1990) (in Russian)

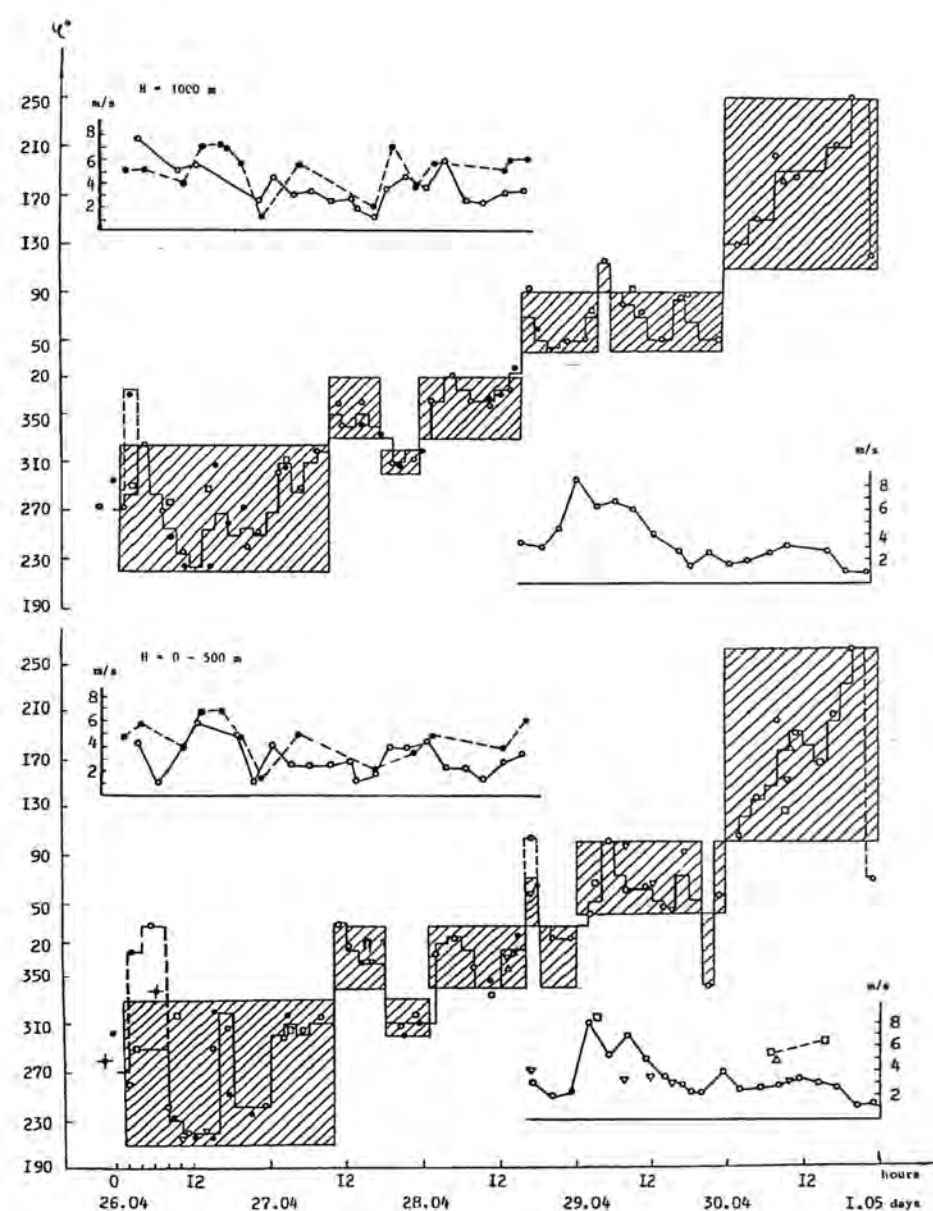
[A5] Yu A Izrael, V N Petrov and D A Severov, "Modelling of the radioactivity in the close-in zone from the accident on the Chernobyl Nuclear Power Plant: Radioactive environmental contamination in the zone of the Chernobyl Nuclear Power Plant", Moscow Gidrometeoizdat, pp. 5-15 (1988) (in Russian)

Fig.A.5 Mean values in layer 0-500 m and 0-1000 m of wind direction and speed from 26 April to 1 May 1986 in the region adjacent to the Chernobyl nuclear power plant:

★ - Kiev (radio probe); ○ - Kiev (airport); ● - Borispol; △ - Mozyr; □ - Gomel; ▽ - Chernigov [A5].

Рис. А.5. Средние значения направления и скорости ветра с 26 апреля по 1 мая 1986 г. в слоях 0-500 м и 0-1000 м в ближайших к ЧАЭС районе:

★ - Киев (радиозонд); ○ - Киев (аэропорт); ● - Борисполь; △ - Мозырь; □ - Гомель; ▽ - Чернигов.



Метеорологическая ситуация в период с 26 апреля до 11 мая представлена на рис. 61 до 64. 12-часовые метеокарты [A1] представлены вместе с данными по суточной сумме осадков [A2,A3]. Карты осадков построены по данным измерений, время начала измерений суточной суммы осадков различалось по странам, эти различия показаны в таблице: это следует принимать во внимание при интерпретации представленных данных.

[A1] Европейский Метеорологический Бюллетень, Немецкая метеослужба, ISSN 0341-2970, Оффенбах на Майне.

[A2] Дж.Грациани и Н.Заримпас, Метеорологические данные, касающиеся Чернобыльской аварии. Отчет EUR 11890, ноябрь 1988.

[A3] Ю.А. Израэль, С.М. Вакуловский, В.А. Ветров, В.Н. Петров, Ф.Я. Ровинский, Е.Д.Стукин. «Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред» под ред.Ю.А.Израэля. - Ленинград: Гидрометеоздат, с.233-265. (1990).

[A4] Ю. А. Израэль, С. М. Вакуловский, В. А. Ветров, В. Н. Петров, Ф. Я. Ровинский, Е. Д. Стукин. « Чернобыль радиоактивное загрязнение природных сред.» Под ред. Ю. А. Израэля, Гидрометеоздат, 1990 г., 296 с.

[A5] Ю. А. Израэль, В. Н. Петров, Д. А. Северов. Моделирование радиоактивных выпадений в ближней зоне от аварии на Чернобыльской атомной электростанции. В сб.: Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской атомной электростанции. М.: Московское отд. Гидрометеоздата, 1988 г., с. 5-15.

APPENDIX B
SUMMARY OF DEPOSITION MEASURING TECHNIQUES AND DATA

B.1 Summary of deposition measurements

Deposited radioactive material determines the radiological consequences of an accidental release once the dispersed material has passed overhead. Knowledge of the deposition is the starting point in assessing the transfer of radioactive material through the environment and its impact on man. Equally, it is the starting point in assessing the need for remedial measures to mitigate the consequence of the accident on the affected population.

Various methods to measure radioactive deposition have been developed and continue to be refined. A detailed review of these methods is beyond the scope of this atlas and consideration is limited here to an overview of the most widely used techniques. Further information can be found in the cited references.

The deposition of gamma emitting nuclides can be measured by taking **soil samples** which are subsequently measured in the laboratory using gamma spectrometry. The depth to which soil is sampled (usually up to 30 cm) as well as the methods of sample treatment (eg, removal of vegetation, drying, etc) can vary between laboratories and the circumstances of the deposition (eg, fresh or aged deposit). This method is generally very precise (depending on the measuring time and sensitivity of the detector) but is time consuming and thus costly; moreover, the measurement is specific to the sampling point and many samples may need to be taken where the deposition pattern is very non-uniform. It is most often used for calibration purposes, for small sampling campaigns (up to several hundreds, exceptionally a few thousands of samples) or when other methods can not be applied (eg, in mountainous regions). The method has the advantage of enabling the depth profile of deposited material to be determined by dividing the soil sample and measuring separately each part.

Large scale monitoring surveys of radioactive deposition can be directly performed (i.e. without sampling) by means of **ground-based gamma spectrometry**. By this method a gamma spectrometer is placed in a fixed configuration with respect to the soil, can be static (*in-situ gamma spectrometry*) or mobile (mounted on a van). The latter technique was used eg, in Finland, where a combination of gamma spectrometric and GM-tube measurements on board of a vehicle was performed to map the caesium-137 deposition for an area of 19,000 km² [B1].

Airborne gamma spectrometers, mounted aboard aircraft or helicopters, capable of flying at low altitude (25-100 m) at a velocity of 100-300 km.h⁻¹, are used for rapid surveys of terrestrial and aquatic radioactive material. The method was developed initially for geological surveys but has increasingly been used to measure the deposition of artificial radionuclides of various origins. The survey of an area under study is usually carried out using parallel flight-paths, with line spacings typically varying from 0.1 to 10 km depending on the resolution required and available flight resource. A series of gamma ray spectra are recorded along the flight lines together with positional information, from navigational systems such as radio beacons or Global Positioning System (GPS), and ground clearance data based on radar altimetry. With appropriate processing the method is capable of estimating dose rates and the levels of deposited radionuclides with measuring rates some 2-3 orders of magnitude greater than available by ground based methods, and with area coverage (taking account of the fields of view of airborne spectrometers) up to 6 or 7 orders of magnitude greater than core samples. Modern airborne spectrometers comprise either high volume scintillation detectors (typically 1-50 litres of NaI(Tl)) or Ge detectors, the latter providing better spectrometric resolution but lower sensitivity. These systems can operate automatically or semi-automatically, and are capable of reliable measurement even at low deposition levels with a sampling time of a few seconds.

The various methods have their strengths and weaknesses and, in a well established monitoring strategy, use is likely to be made of several approaches in combination. Laboratory analyses of ground based samples better characterise the deposition at the sampling point, but are subject to small scale local variations. Ground-based *in-situ* methods are highly sensitive, but require knowledge of the depth distribution. Airborne gamma spectrometry provides a more rapid and representative survey for larger areas, but is also sensitive to the distribution of activity in the environment. A limited number of soil samples is therefore used to determine the radionuclide vertical distribution, for both *in-situ* and airborne spectrometry, to allow for a more precise determination of the terrain radioactive deposition than would otherwise be possible. A combination of airborne gamma spectrometry and ground-based measurements thus provides a most effective measuring method to survey large areas with relatively small variation in elevation.

Because they are efficient and can be used to survey large areas quickly, airborne gamma spectrometry was the principal method used for measuring deposition on the territory of the former Soviet Union following the CNPP accident; an area in excess of 5 million square kilometres was surveyed in the former Soviet Union [B2, B3], Sweden [B4] and the United Kingdom [B5].

B.2 Description of the data-sets used

A summary of the data used to compile the maps in the atlas is given in table B.1 All of the data have been normalised (ie, corrected for radioactive decay) to 10 May 1986. Most of the data were reported in terms of the total deposition (ie, from weapons' fallout, Chernobyl, etc) of caesium-137. In a few cases, data were reported in terms of only the Chernobyl deposits; these have been modified to total deposits using a procedure agreed with individual data suppliers.

The data used in compiling the maps comprised solely those based on soil sampling, *in-situ* (static and mobile) and airborne gamma spectrometry. Data reported by some countries (e.g. Albania, Bulgaria, Portugal) were in a form that could not be used for the purposes of the atlas, neither directly nor indirectly (eg, measurements of the total deposition of beta emitting radionuclides, concentration of caesium in environmental samples (eg, grass) or foodstuffs, etc). In principle, such data can be used to provide approximate estimates of the terrestrial deposition of caesium-137; however, this was beyond the scope of the project. For these countries and others not reporting any data, maps of caesium deposition could not be

ПРИЛОЖЕНИЕ B
ОБЗОР МЕТОДИК ИЗУЧЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МЕСТНОСТИ И
ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ДАННЫХ

B.1. Обзор методик измерения уровней загрязнения местности
цезием-137

Выпавший радиоактивный материал определяет радиологические последствия аварийного выброса. Изучение радиоактивного загрязнения местности является отправным пунктом для оценки миграции радионуклидов в окружающей среде и их воздействия на человека, а также для принятия решений о необходимости мер по предотвращению влияния последствий аварии на население.

К настоящему времени были разработаны и продолжают совершенствоваться разнообразные методы измерения радиоактивного загрязнения, подробное описание этих методов выходит за рамки задач Атласа, здесь приводится только краткий обзор наиболее широко распространенных методик. Более подробную информацию можно почерпнуть из прилагаемого списка литературы.

Загрязнение гамма-излучающими радионуклидами может измеряться путем отбора **проб почвы**, измеряемым в лабораторных условиях с помощью гамма-спектрометрической аппаратуры. Глубина пробоотбора (обычно до 30 см) и способы пробоподготовки (например, измельчение, просушивание и т.д.) в различных лабораториях могут отличаться друг от друга, а также зависеть от характеристик загрязнения (например, от его возраста). Данный метод обычно дает весьма точные результаты (зависящие от продолжительности экспозиции пробы и чувствительности детектора), но требует много времени и поэтому дорог. Кроме того, в пределах пятен загрязнения сложной структуры выпадений возникает необходимость отбора очень большого количества проб. Этот метод используется чаще всего для целей калибровки аппаратуры, для отбора ограниченного количества проб (до нескольких сотен, в исключительных случаях - до нескольких тысяч), или же в тех случаях, когда нельзя применить другие методы (например, в горных районах). Преимущество метода заключается в том, что он позволяет исследовать глубинное распределение радиоактивного материала в почве путем разбивки пробы на отдельные слои и проведения измерений каждого из них.

Крупномасштабные съемки радиоактивного загрязнения для целей мониторинга могут выполняться без отбора почвенных проб средствами **наземной гамма-спектрометрии**. При использовании этого метода гамма-спектрометр устанавливается в фиксированном положении относительно земной поверхности. Этот метод может быть стационарным (**гамма-спектрометрия in-situ**) и мобильным (гамма-спектрометрическая аппаратура устанавливается на автомобиле. Мобильная гамма-спектрометрия применялась, например, в Финляндии, где для построения карты загрязнения цезием-137 на территорию около 19000 кв.км использовалась комбинация гамма-спектрометрических и GM-tube измерений с использованием автомобильной техники [B1].

Аэро-гамма-спектрометры, установленные на борту самолетов или вертолетов, приспособленных к полетам на малых высотах (25-100 м) со скоростью 100-300 км/час., использовались для проведения оперативной съемки радиоактивного загрязнения поверхности земли и акваторий. Этот метод изначально разрабатывался для использования в геологии, но впоследствии стал все чаще применяться для измерения радиоактивного загрязнения различной природы. Съемка на изучаемой территории проводится обычно путем проложения параллельных маршрутов, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,1-10 км в зависимости от необходимой детальности исследования и наличия летных ресурсов. Вдоль маршрутов фиксируются спектры гамма-излучения и информация о пространственном положении летательного аппарата, получаемая с помощью навигационных систем (таких, как радиомаяки или системы GPS – всемирная система расположения), а также данных измерений высоты с помощью радара. При надлежащей обработке данных этот метод позволяет дать оценку уровня мощности дозы и загрязнения местности радионуклидами с точностью, превышающей точность наземных методов, при этом охват территории при одном измерении, принимая во внимание дальность обзора бортовых спектрометров, может превосходить таковой при наземном пробоотборе на 6-7 порядков. В современных авиационных спектрометрах используются сцинтилляционные детекторы большого объема (обычно 1-50 л NaI (Tl)) и полупроводниковые детекторы, обладающие более высокой разрешающей способностью, но меньшей чувствительностью. Данные системы могут работать в автоматическом или полуавтоматическом режиме и дают надежные результаты измерений даже при низких уровнях загрязнения (время одного измерения при этом составляет несколько секунд для сцинтилляционных и минуты для полупроводниковых детекторов).

Разные методы имеют свои плюсы и минусы, и при хорошо продуманной стратегии мониторинга, полезна комбинация этих методов. Лабораторные анализы проб почвы наиболее полно характеризуют загрязнение в точке пробоотбора, но подвержены влиянию изменчивости полей загрязнения в локальном масштабе. Наземные методы измерений in-situ обладают высокой чувствительностью, но требуют исследования распределения радионуклидов по глубине. Аэрогамма-спектральная съемка дает возможность провести быстрые и представительные измерения на больших территориях, но также зависит от распределения активности в окружающей среде. Поэтому производится отбор ограниченного числа проб для исследования вертикального распределения радионуклидов в почве как при проведении спектрометрических измерений in-situ, так и при аэрогамма-спектральной съемке, что дает возможность наиболее точно определить уровни радиоактивного загрязнения местности. Таким образом, комбинация аэрогамма-спектральной съемки и наземных измерений - наиболее эффективный метод измерений при проведении съемки на обширных территориях с относительно небольшим расчленением рельефа.

Поскольку аэрогамма-спектральные методы эффективны при оперативной съемке больших территорий, они являлись одним из основных способов измерения

prepared; the number of such countries or regions is, however, very small. The number of discrete data (ie, deposition level at a particular location) used in compiling the maps are indicated in Table B1. They do not, however, necessarily represent the actual number of measurements made nor transmitted. In some countries (especially in Belarus and Ukraine) the reported data are often aggregates of many measurements (eg, to be representative of particular settlements) made in more extensive monitoring campaigns. Where more than one deposition level was reported for the same geographic location, the values were averaged by the project staff, after correction for radioactive decay. The data for Russia were presented as a grid with different lags (distance between the points). Automatic processing of airborne gamma spectrometric measurements together with soil sampling data was completed prior to the beginning of this project; a complete map containing the eastern Chernobyl pattern were presented with a lag of 1.3° in latitude and 3° in longitude, the remaining European part of Russia and the Ural region with a lag of 3° latitude and 6° longitude.

The spatial distribution of the data used is illustrated in Figure B.1; wide variation is apparent in the density of measurements in different parts of Europe. Those regions exhibiting the highest density of data (eg, Russia, Sweden, limited areas in the UK) have been surveyed using airborne gamma spectrometry.

The data were provided largely by nominated contact points in each country but were supplemented by data from other sources; the sources of data listed in Appendix F.

радиоактивного загрязнения местности в бывшем СССР после аварии на Чернобыльской АЭС. Была проведена съемка на территории, превышающей 5 млн. кв.км в бывшем Советском Союзе [B2, B3], в Швеции [B4] и Великобритании [B5].

В.2. Описание использованных данных

В таблице В.1 приведен обзор данных, использованных для составления карт Атласа. Эти данные были пересчитаны с учетом радиоактивного распада на 10 мая 1986 г. Большая часть данных относилась к суммарному загрязнению цезием-137 (т.е., в результате глобальных выпадений, Чернобыльской аварии и т.д.). В некоторых случаях данные относились только к чернобыльским выпадениям; их нужно было скорректировать, чтобы включить в них дочерно-чернобыльские выпадения цезия-137. Примененные процедуры были согласованы с национальными координаторами.

При построении карт использовались только данные измерений, проводящиеся методом отбора и анализа проб, методом *in situ* (стационарные и подвижные) и методом аэрогамма-спектральной съемки. Некоторые страны (например, Албания, Болгария, Португалия) представили данные, которые нельзя было непосредственно использовать для построения карт загрязнения местности цезием-137 (например, данные измерений суммарного загрязнения бета-излучающими радионуклидами, данные о содержании цезия в пробах травы, продуктов питания и т.д.). Такого рода данные можно использовать для приблизительных оценок загрязнения территории цезием-137, однако, проведение таких оценок не входило в задачи Атласа. Для этих стран, а также стран, не представивших данные вообще, построение карт загрязнения местности цезием-137 оказалось невозможным. Число таких стран или регионов невелико. В таблице В.1 показано, сколько точек было использовано для составления карт. Они не отражают первоначального количества измерений или переданных данных. В некоторых странах (особенно в Беларуси, на Украине) представленные данные, полученные в пределах одного населенного пункта во время проведения широко-масштабных измерений, осреднялись и представлялись в виде одной точки. Во всех случаях, когда было представлено несколько значений с одинаковыми координатами, они приводились до единой даты путем введения поправок на радио-активный распад и затем осреднялись. Данные по России были представлены в виде сетки (грида) с различным шагом (расстоянием между точками). К началу работ по проекту в России уже была проведена автоматизированная обработка данных аэрогамма-спектральных измерений и почвенного опробования, поэтому в базу данных по проекту была введена уже готовая карта, представленная для территории восточного Чернобыльского следа с шагом 1,3° по широте и 3° по долготе, а для остальной территории европейской части России и Уральского региона - с шагом 3° по широте и 6° по долготе.

Географическое положение точек, по которым строились карты, представлено на рис. В.1. Обращает на себя внимание широкое разнообразие пространственной детальности обследования территорий различных европейских стран. Наиболее плотно размещены точки измерений на тех территориях, где проводилась аэрогамма-спектральная съемка (Россия, Швеция, некоторые районы Великобритании).

Большая часть данных была представлена официальными организациями различных стран. Данные поступали также и из других источников. Они перечислены в Приложении F.

Fig. B.1 Spatial distribution of the caesium-137 deposition data used for the Atlas
Рисунок В.1. Пространственное распределение данных о загрязнении местности цезием-137, использованных для построения карт Атласа

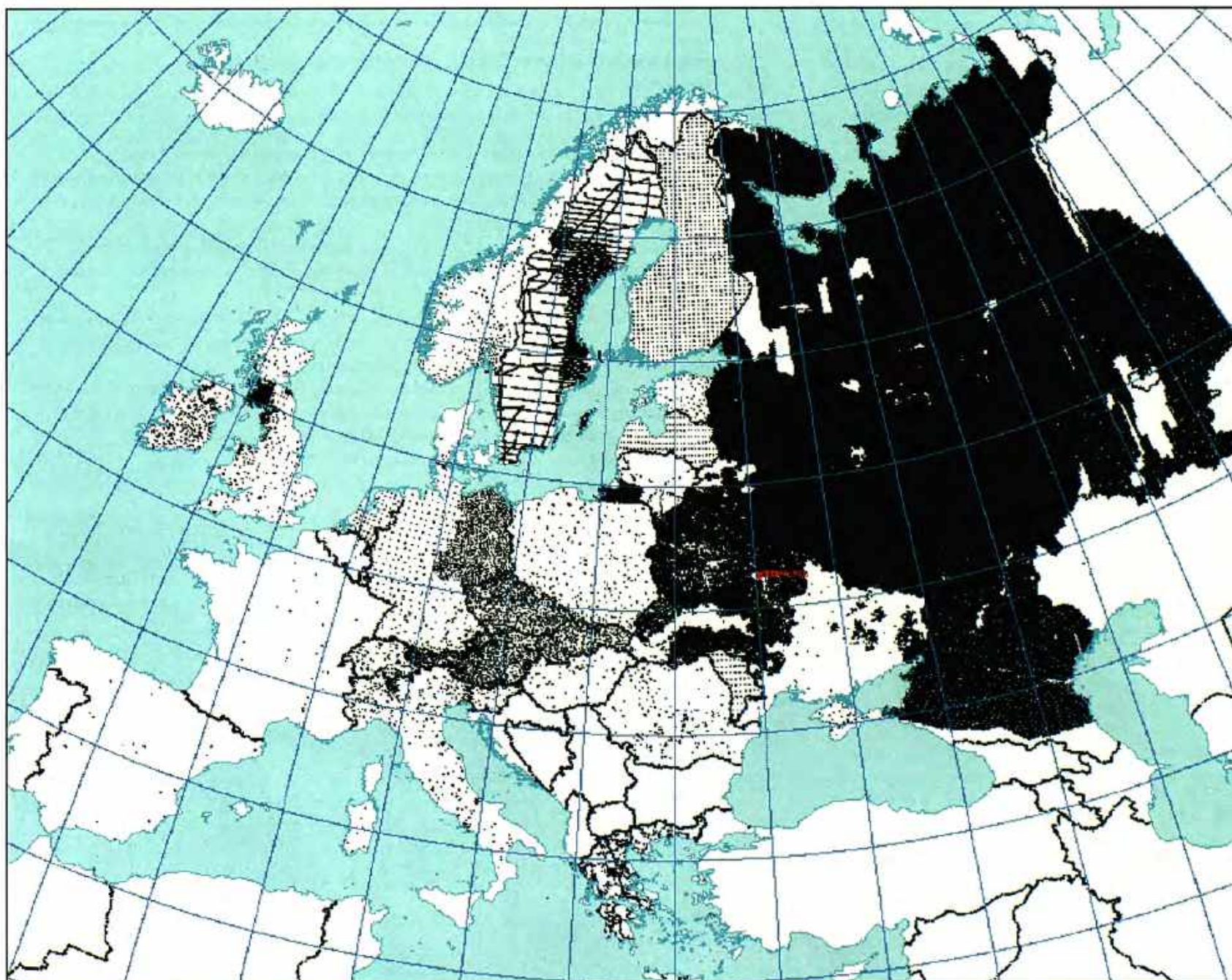


Table B.1: Summary of data used in compiling the maps of caesium-137 deposition

Таблица В.1.: Обзор информации о загрязнении местности цезием-137, использованной для подготовки карт

Country Страна	Surface (1000 km ²) Площадь (тыс.км ²)	Number of data used (1) Число точек(1)	Type of Sampling Тип данных	Soil depth (mm) Глубина пробо- отбора почв (см)	Modifications made to the reported data (2) Преобразование представленных данных (2)
Austria - Австрия	83.9	1780	SAL ЛАП	30-100	
Belarus - Беларусь	208	19058	SAL ЛАП	200	
Belgium - Бельгия	30.5	11	SAL ЛАП	20	
Croatia - Хорватия	56.5	4	SAL ЛАП	50-100	
Czech Republic - Чехия	78.9	776	SAL ЛАП	30	correction to include global fallout: (Reported level-0.5)*1.25 + 2.8 kBq m ⁻² внодился поправка на включение глобальных выпадений
Denmark - Дания	43.1	15	SAL ЛАП	100	
Estonia - Эстония	45.1	111	AGS АГС	na	
Finland - Финляндия	337	851	MGS МИС	na	
		8	SAL ЛАП	50	
France - Франция	544	35	SAL ЛАП	ni	
Germany - Германия	366	1371	SAL ЛАП	50-200	
Greece - Греция	132	1931	SAL ЛАП	10,200	
Hungary - Венгрия	93.0	86	FGS ПГС	na	
Ireland - Ирландия	68.9	342	SAL ЛАП	50, ni	
Italy (3) - Италия (3)	280	436	SAL ЛАП	ni, 150	
Latvia - Латвия	63.7	153	AGS АГС	na	
Lithuania - Литва	65.2	90	SAL ЛАП	na	
Luxembourg - Люксембург	2.59	15	SAL ЛАП	60-110	
Moldavia - Молдавия	33.7	64	AGS АГС	na	
Netherlands - Нидерланды	41.2	84	SAL ЛАП	50	
Norway - Норвегия	324	448	SAL ЛАП	40	
Poland - Польша	313	299	SAL ЛАП	100	
Romania - Румыния	238	201	SAL ЛАП	150	
Russia (European part) - Россия (Европейская часть)	3,800	176921	SAL ЛАП AGS АГС	150-300 na	
Slovak Republic - Словакия	49.0	411	SAL ЛАП	30	correction to include global fallout: (Reported level-0.5)*1.25 + 2.8 kBq m ⁻² внодился поправка на включение глобальных выпадений
Slovenia - Словения	20.3	57	SAL ЛАП	120	
Spain - Испания	503	31	SAL ЛАП	ni	
Sweden - Швеция	450	135848	AGS АГС	na	1.6 kBq m ⁻² added to correct for global fallout внодился поправка на включение глобальных выпадений
Switzerland - Швейцария	41.3	190	SAL ЛАП FGS ПГС	150-200 na	
Turkey (European part) - Турция (Европейская часть)	24	1	SAL ЛАП	10	
Ukraine - Украина	604	11569	SAL ЛАП AGS АГС	200 na	
United Kingdom - Великобритания	245	395 15891	SAL ЛАП AGS АГС	50-150 na	reselection of original data over 1 kBq m ⁻² повторный выбор начальных данных, превышающих 1 кБк/км ²

SAL: soil sample analysis in laboratory
FGS: field (in-situ) gamma-spectrometry
MGS: mobile gamma-spectrometry
AGS: airborne gamma-spectrometry
ni: no information
na: not applicable

ЛАП: лабораторный анализ почвы
ПГС: полевая гамма-спектрометрия (in situ)
МИС: мобильные измерения (in situ)
АГС: аэрогамма-спектрометрия

(1) some of these data represent aggregated values obtained from more than one measurement; many of the data for Belarus and Ukraine represent aggregated values obtained from several thousands of original measurements

(2) Corrections in agreement with the data provider

(3) excluding Sicily

(1) некоторые из этих данных представляют суммарные величины, нескольких измерений; многие данные по Беларуси и Украине представляют суммарные величины, полученные от нескольких сот до нескольких тысяч измерений

(2) поправки по договоренности с лицами, предоставившими данные

(3) без Сицилии

- [B1] H Arvela, M Markkanen and H Lemmelä, "Mobile survey of environmental gamma radiation and fall-out levels in Finland after the Chernobyl accident", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 32 No. 3, pp. 177-184 (1990)
- [B2] R M Kogan, I M Nazarov, Sh D Fridman, "Principles of Environmental Gamma Spectrometry", 3rd ed., rev. and suppl. - Moscow, Energoatomizdat, 233 pp. (1991) (in Russian)
- [B3] Yu A Izrael, S M Vakulovski, V A Vetrov, V N Petrov, F Ya Rovinsky and E D Stukin, "Chernobyl: the radioactive contamination of the environmental surroundings", Ed. Yu A Izrael, Leningrad, Gydrometeoizdat, 296 pp. (1990) (in Russian)
- [B4] H Mellander, "Airborne gamma spectrometric measurements of the fall-out over Sweden after the nuclear reactor accident at Chernobyl, USSR", IAEA internal report IAEA/NENF/NM-89-1
- [B5] D C W Sanderson, J D Allyson and A N Tyler, "Environmental Applications of airborne gamma spectrometry", IAEA TECDOC 827, pp. 71-91, IAEA, Vienna (1995)

- [B1] Х. Арвела, М. Маркканен и Х. Леммела, «Передвижные измерения естественной гамма радиации и ее уровней в выпадениях в Финляндии после Чернобыльской аварии» Дозиметрия радиационной защиты, том 32 №3, с 177-184 (1990) (на англ. языке)
- [B2] Р.М.Коган, И.М.Назаров, Ш.Д.Фридман «Основы гамма-спектрометрии природных сред», изд 3-е, перераб. и дополн., - Москва, Энергоатомиздат, 233 с. (1991)
- [B3] Ю.А. Израэль, С.М. Вакуловский, В.А. Ветров, В.Н. Петров, Ф.Я. Ровинский и Е.Д. Стукин. «Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред», под ред. Ю.А.Израэля, - Ленинград: Гидрометеонадат, 296 с. (1990)
- [B4] Х. Мелландер, «Воздушные гамма-спектрометрические измерения выпадений над Швецией после аварии на Чернобыльском реакторе, СССР» МАГАТЭ внутренний отчет МАГАТЭ/NENF/NM-89-1 (на англ. языке)
- [B5] Д. С. В. Сандерсон, Дж. Д. Аллисон и А. Н. Тайлер, «Воздушная гаммаспектрометрия в применении к окружающей среде», МАГАТЭ TECDOC 827, 71-91, Вена (1995) (на англ. языке)

APPENDIX C GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND THEIR ROLE WITHIN THE PROJECT

Although the main aim of the atlas is to present information on radioactive deposition, one of the most challenging and innovative aspects of the project were the methods used in the compilation and production of the various maps. The demand for the storage, analysis and display of complex and large sets of environmental data has led to the use of computers, and to the creation of sophisticated information systems. The function of an information system is, *inter alia*, to improve decision making. An information system is that chain of operations that starts with the collection of data which are then analysed to generate new information for the decision making process. A major goal of this project was the use of a computer-based information system to manage, process and display all of the elements that are shown on the maps of this atlas. The tools and methods used to produce these maps are summarised.

By definition, a map is a mathematical representation, to a certain scale and on a flat medium, of a selection of features on, or in relation to, the surface of the Earth [C1,C2]. To be useful, a map must be able to convey information in a clear and unambiguous fashion. In order to achieve this goal, a cartographer must transfer information from the surface of the Earth to a sheet of paper. In an abstract sense, this paper then stores and displays the data that the mapmaker has analysed. In other words a map can be regarded as an information system. A geographic information system is an information system that is designed to work with data which are located by geographic coordinates (also known as spatially referenced). In this sense, a geographic information system (GIS) can be thought of as a high order map product. The term GIS has in recent years become synonymous with a rapidly emerging technology for processing spatial data. A GIS can be defined as a powerful set of computer based tools for collecting, storing, retrieving, transforming and displaying spatial data from the real world for a particular set of purposes [C3]. In simple terms, a GIS can be regarded as a database system for holding information together with an integrated set of operations for working with the data. GIS are rapidly becoming a standard tool for the management of natural resources and the production of high quality output (ie, maps).

The GIS that was used in this project is ARC/INFO ⁽¹⁾ version 6.1. In addition to a huge library of tools for processing spatial data and generating high quality maps, ARC/INFO includes a relational database interface that allows integration with existing database management systems and an effective programming language (AML) for developing customised applications which was extensively used in this project. ARC/INFO was used because it is probably the most used GIS in the world, which implies that the exchange of information between collaborating groups is relatively straightforward and simple.

The bulk of the cartographic detail for virtually all the maps in the atlas is provided by information contained in the Digital Chart of the World (DCW). The DCW is a global product, produced for the US Defense Mapping Agency [C4] from aeronautical charts. The DCW is a data-set of assorted digital cartographic themes at a scale of 1:1,000,000. Each theme is coded for a number of attributes and the information is presented as latitude/longitude coordinates. The DCW provided a common base from which all maps could be produced. Where necessary, the DCW data have been supplemented by additional information from the European Commission's GISCO database (Eurostat 1994) and from the Lovell Johns 1:5,000,000 European Digital Database. Substantial and extensive editing and re-coding of these data-sets were undertaken in order to satisfy the needs and objectives of the atlas. Some original data capture was performed in order to provide the necessary geographic detail for the larger scale maps.

The information on radioactive sampling from the collaborating laboratories was received in the form of data which could be geographically located by a latitude and longitude coordinate. The spatial information was used to generate a point based theme (or coverage as they are referred to in ARC/INFO) of the sampling locations. Each point is tagged with a unique identification code and additional information, (eg, the caesium-137 deposition value) and any other attribute information, can then be attached directly.

Because degrees of latitude and longitude are measured in angles from the centre of the Earth, locations listed in degrees cannot be associated with a standard length. Consequently, for any database to be useful for spatial analysis, all data locations must be registered to a common coordinate system. A coordinate system is composed of a spheroid (a mathematical description of the Earth's surface) and a map projection (a mathematical conversion from spherical to planar coordinates). Map projections ensure a known relationship between locations on a map and their true locations on the Earth. For the maps in the atlas, the deposition sampling points were transformed to an equal area map projection (Lambert Azimuth Projection). Once the data have reached this level, the cartographic data (eg, coastline) can be similarly transformed to the same projection and overlaid to check the locational accuracy of the sampling point coordinates and plotting.

The next phase in the production of the atlas requires the generation of maps that display the point-based sampling data as isolines of caesium deposition. This complex topic is covered more in detail in Appendix D.

Once the deposition maps have been calculated, powerful analysis of the data can be undertaken. The relationship between various themes can be investigated by the simplest of GIS operations such as overlay and buffering. For example, all towns within 100 km of the Chernobyl site can be identified, the relationship between caesium deposition, topography and precipitation levels can be correlated while the effect of urban heat islands on deposition patterns can be assessed.

For any atlas, a crucial element is the presentation of the final results. The deposition data need to be combined with the supporting cartographic data-sets (e.g. roads, rivers, political boundaries) to produce a series of graphic files. As in the case of maps, a GIS provides the user with tools to display data by a range of symbols and colours. Areas can be filled by patterns or solid color, lines can be depicted by varying widths and styles.

It is imperative that the output is of the highest quality. Lovell Johns have developed an innovative routine to transfer ArcInfo coverages into an Apple Macintosh Desk Top Publishing (DTP) environment for the generation of high quality value-added graphics

ПРИЛОЖЕНИЕ С ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ИХ РОЛЬ В ПРОЕКТЕ

Основной задачей Атласа является картографирование радиоактивного загрязнения местности, при этом одной из особенностей проекта было использование современных методов построения карт. Необходимость сбора, анализа и отображения обширного комплекса данных, относящихся к окружающей среде, привела в последние десятилетия к широкому использованию компьютерных средств и созданию сложных систем обработки такого рода информации. Наряду с решением других задач, информационные системы способствуют повышению качества принятия управленческих решений. Информационная система представляет собой цепочку операций, начиная со сбора данных, и их последующего анализа с целью создания качественно новой информации. В данном проекте компьютерная информационная система была использована для обработки и отображения всех элементов нагрузки составляемых карт. В настоящем Приложении кратко описываются средства и методы, использовавшиеся для построения карт радиоактивного загрязнения, представленных в Атласе.

По определению, карта представляет собой математически определенное изображение на плоскости в некотором масштабе специально отобранных характеристик земной поверхности, или некоторых характеристик относительно нее [C1, C2]. Для удобства пользования карта должна отражать информацию ясно и недвусмысленно. В абстрактном смысле карта хранит и изображает данные, проанализированные составителем карты. Другими словами, карту можно рассматривать как информационную систему. Географическая информационная система (ГИС) - это система, предназначенная для работы с данными, имеющими географические координаты (пространственными данными). В этом смысле ГИС может рассматриваться как картографическое произведение высокого порядка. Термин ГИС в последние годы стал синонимом быстро развивающейся технологии обработки пространственных данных. ГИС можно определить как мощный набор компьютерных средств для сбора, хранения, поиска, передачи и отображения пространственных данных, поступающих из реального мира, для различных целей [C3]. Наиболее просто ГИС можно определить как систему, состоящую из базы данных для хранения пространственной информации и встроенного программного комплекса по работе с такими данными. ГИС быстро становятся общепринятым инструментом управления природными ресурсами и построения карт высокого качества.

ГИС, используемая в данном проекте, представляет версию 6.1 ARC/INFO⁽¹⁾. Помимо обширного набора средств для обработки пространственных данных и получения высококачественных карт, ARC/INFO включает в себя интерфейс для связи с базами данных, который позволяет провести интеграцию с существующими системами управления базами данных и использовать эффективный язык программирования AML для разработки приложений для пользователей, широко применявшихся в проекте. Система ARC/INFO была выбрана потому, что она является наиболее популярной ГИС в мире, что подразумевает относительно простой обмен информацией между сотрудничающими организациями.

Картографическая привязка практически для всех карт Атласа обеспечена информацией, содержащейся в цифровой карте мира (ЦКМ). ЦКМ имеет глобальный охват и получена на основании космических снимков Военным картографическим агентством США [C4]. ЦКМ представляет собой массив данных различных цифровых слоев картографической нагрузки в масштабе 1:1 000 000. Каждый элемент нагрузки закодирован по многим признакам, и информация представлена в широтно-долготных координатах. ЦКМ обеспечивает общую базу, на основании которой можно построить любые карты. При необходимости данные ЦКМ дополнялись информацией из базы данных GISCO Европейской Комиссии (Евростат, 1994) и Европейской цифровой базы данных Ловелла Джонса (1:5 000 000). Для удовлетворения потребностей Атласа и выполнения его задач было проведено обширное редактирование этих массивов данных и их перекодировка. Для обеспечения необходимой географической детальности карт более крупного масштаба были привлечены некоторые оригинальные данные.

Информация о радиоактивном загрязнении была получена из принимающих участие в сотрудничестве организаций в форме точек, которые имели картографическую привязку по широте и долготе. Они составили точечное покрытие (слой), согласно терминологии ARC/INFO. Каждая точка имеет уникальный опознавательный код и содержит информацию об уровне загрязнения цезием-137; в дальнейшем каждую точку можно будет непосредственно снабдить любой другой информацией.

Для того, чтобы любая база данных могла быть использована для пространственного анализа, все данные нужно записать в единой системе координат. Система координат состоит из сфероида (математического описания поверхности Земли) и картографической проекции (математического способа перехода от сферических координат в координаты на плоскости). Проекция отражает связь между положением объектов на карте и их действительным положением на Земле. Для карт Атласа точки с информацией о загрязнении были преобразованы в равноплощадную картографическую проекцию (азимутальная проекция Ламберта). Элементы картографической нагрузки (например, береговая линия, дороги, реки) представлены в той же проекции и наложены для привязки информации о загрязнении.

Следующий этап составления Атласа состоял в создании карт, представляющих загрязнение местности цезием-137 в изолиниях. Эта процедура описана более подробно в Приложении D.

По завершении построения карт ГИС позволяет их проанализировать. Взаимосвязи между различными географическими характеристиками можно исследовать с помощью простейших операций ГИС, таких, как наложение карт с выделением зон перекрывающих друг друга элементов. Например, можно выделить все города в определенном радиусе вокруг Чернобыльской АЭС, может быть выявлена зависимость между уровнями загрязнения цезием-137 и количеством выпавших

prior to final printing. Once the ARC/INFO files are in this environment, all the elements for plotting appear as individual layers, which further onwards can be arranged appropriately and manipulated as required.

Initial proofing of the maps were carried out on a computer monitor and on paper plots from colour plotters. On completion of the pre-printing stage, a series of postscript files were sent to a high resolution optical film writer which uses a light to transfer the graphics image to colour film. These films were used to produce the master copies for the printing stage.

(1) ARC/INFO is a registered trade mark of ESRI Inc., California, USA

[C1] K G Salishchev, Cartology. MGU, 484 pp. (1980) (in Russian)

[C2] C Valenzula, "Basic principles of Geographic Information Systems" in Remote Sensing and Geographic Information Systems for resource management in developing countries, edited by A Belward and C Valenzula. Dordrecht: Kluwer Academic, pp. 279 - 295 (1991)

[C3] P Burrough, "Principles of Geographic Information Systems for land resource assessment. Oxford: Clarendon Press (1986)

[C4] Danko, "The digital chart of the world project" in Annual ESRI User Conference 11th, Proceedings: Redlands, Calif., Environmental Systems Research Institute, Vol. 1, pp. 169-180. (1991)

осадков, может быть оценено воздействие городских островов тепла на картину распределения загрязнения.

В любом атласе важным является представление окончательных результатов. Для получения графических файлов данные о загрязнении необходимо скомбинировать с массивами картографических данных (т.е., данными о дорогах, реках, государственных границах). Как и на традиционных картах, ГИС обеспечивает изображение с помощью символов и цветов. Полигоны могут быть закрашены штриховкой или цветовой заливкой, ширина линий и их рисунок могут меняться.

Необходимо, чтобы выходные данные были самого высокого качества. К настоящему времени Ловеллом Джонсом разработан новый способ переноса покрытий ARC/INFO в среду Apple Macintosh Desk Top Publishing (DTP) для получения графики высокого качества перед завершающей печатью. Если файлы ARC/INFO находятся в этой среде, все элементы для нанесения на карту появляются в виде отдельных слоев, которые затем можно упорядочить должным образом и соединить, как это необходимо.

Первичный контроль качества карт был выполнен на мониторе компьютера и на бумажной основе с цветного плоттера. По завершении стадии предварительной печати окончательные файлы были отпечатаны на оптической пленке с высоким разрешением, где используется свет для переноса графического изображения на цветную пленку. Эти пленки применялись для производства мастер-копий на стадии печати.

(1) ARC/INFO - зарегистрированная торговая марка ESRI Inc., Калифорния, США.

[C1] К.Г. Салищев, Картоведение. М.: Изд-во МГУ, 484 с. (1980)

[C2] С. Валензула, «Основные принципы Географических Информационных Систем» в «Дистанционный поиск и Географические информационные системы для управления ресурсами в развивающихся странах» ред. А. Белвард и С. Валензула. Дордрехт: Клувер Академик., с 279-295 (1991) (на англ. языке)

[C3] П. Бурроу, «Принципы Географических информационных систем для оценки земельных ресурсов». Оксфорд: Кларенден Пресс (1986) (на англ. языке)

[C4] Данко «Цифровая карта мирового проекта» в трудах ежегодной 11-й конференции пользователей ESRI, Редлендс, штат Калифорния, Исследовательский Институт окружающей среды, том 1, с 169-180 (1991) (на англ. языке)

APPENDIX D INTERPOLATION PROCEDURE APPLIED TO THE BASIC DATA

D.1 The Point to Area Conversion

Deposition levels were provided in the form of discrete (point) data located geographically. These data can be of a regular nature (eg, measurement points along the helicopter flight when using airborne gamma spectrometry survey) or of a rather random nature (eg, values gridded to settlements, weather stations, research areas, actual point of measurement, etc).

Such data could be presented or displayed in different ways. Presenting the data by points, coloured according to the levels of deposition at the measurement location, is indicative of how thoroughly the territory has been investigated but it disguises the spatial continuity in the deposition patterns. Therefore, as the deposition of caesium-137 is a continuous field, it can be best presented on maps with the help of isolines. Isolines, when connecting equal values of the deposition levels, indicate spatial variation of these levels and single out irregularities in deposition fields.

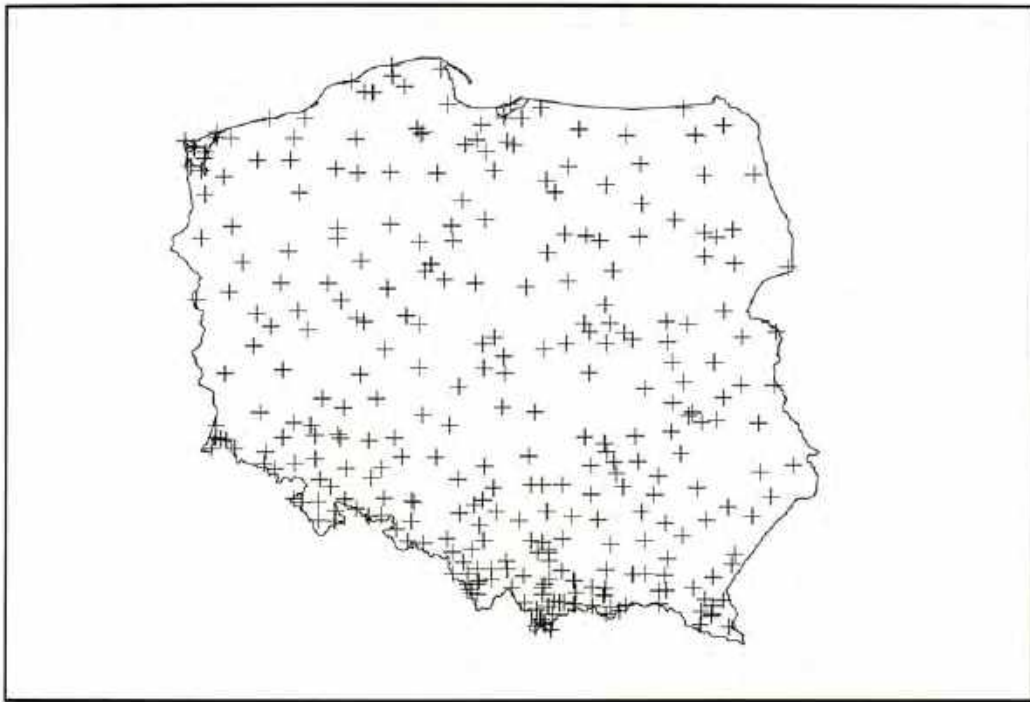
The data are also presented in the form of Voronoi polygons as this has the added advantage of showing the original structure of the sampling network.

D.1.1 Voronoi polygons

Generally, when the studied variable is continuous, an attempt is made to reconstruct this continuity with the help of models. This can be done with interpolation methods that involve the estimation of the variable at unsampled places. Voronoi polygons, also called Thiessen polygons [D1], have been used to divide each country into areas, with each area representing one data point. These polygons have the property that any point in a given polygon is closer to its associated measurement than that in any other polygon. Each polygon (or data point) is associated with one or more measurement of deposition assigned to a single location. Where more than one data value was assigned to a single location, the average value was taken. Consequently, areas with small polygons reflect a high density of data points and vice versa. In the following example, data are clustered in the south of the country whereas, elsewhere, they are spatially more homogeneous and less dense.

Fig D.1 Example: sampling points in Poland

Рис. D.1. Пример размещения точек опробования в Польше:



Each data point is taken to represent the deposition value of a certain area; this does not necessarily coincide with the corresponding Voronoi polygon. How representative this area is depends on many factors: the characteristics of the Chernobyl accident, the distance from the CNPP, the relief and the character of the underlying terrain, the nature and intensity of precipitation experienced by the radioactive material as it dispersed over Europe, etc. Therefore, the Voronoi polygons should not be interpreted as a reflection of a real structure of the deposition field, but as a primary model based on the available data. In addition, this method underlines the apparent influence of isolated sampling locations on the general deposition pattern.

D.1.2 Interpolation method used

D.1.2.1 General

The use of Voronoi polygons is, by itself, insufficient. This technique was mainly used to show the reader the original data and their relative spatial distribution.

The second approach adopted for the interpolation was to assume the observations to be spatially correlated, ie, the closer two observations are, the more likely it is that they are similar. Unlike Voronoi polygons, more weight (a scaling factor expressing the importance of a variable) is therefore assigned to nearby points than to distant points. The most common weighting function is the inverse distance weighted (IDW) method [D2] which has, in general, been used here. Although other methods could have been used, this well known method was preferred due to its ease of use and because it provided a good compromise between calculation speed and quality of the interpolation. The use of more sophisticated tools would, in general, have greatly increased the computational resources needed with only marginal improvements in the estimated patterns of deposition. A disadvantage of using the IDW method is that using weighting functions may introduce ambiguity if the characteristics of the deposition patterns, and therefore those of the weighting functions, are not known. Furthermore, this interpolation method is a smoothing procedure, which means that it processes minima and maxima located at sampling points but does not show them on the maps.

ПРИЛОЖЕНИЕ D ПРОЦЕДУРА ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИСХОДНЫМ ДАННЫМ

D.1. Преобразование точки в площадную характеристику

Информация об уровнях загрязнения поступала в форме географически размещенных точечных данных. Они могут носить регулярный характер (например, точки измерений по маршруту вертолета при аэрогамма-спектральной съемке), либо располагаться достаточно случайно (например, измерения, приуроченные к населенным пунктам, метеостанциям, научно-исследовательским полигонам, отдельные точки измерений и т.д.).

Размещение таких данных может быть показано различными способами. Представление данных с помощью точек, окрашенных в соответствии с уровнем загрязнения в местах измерений, показывает изученность территории, однако, скрывает пространственную непрерывность поля загрязнения. Поэтому, данные были также представлены в виде полигонов Вороного, которые демонстрируют структуру сети пробоотбора по каждой стране.

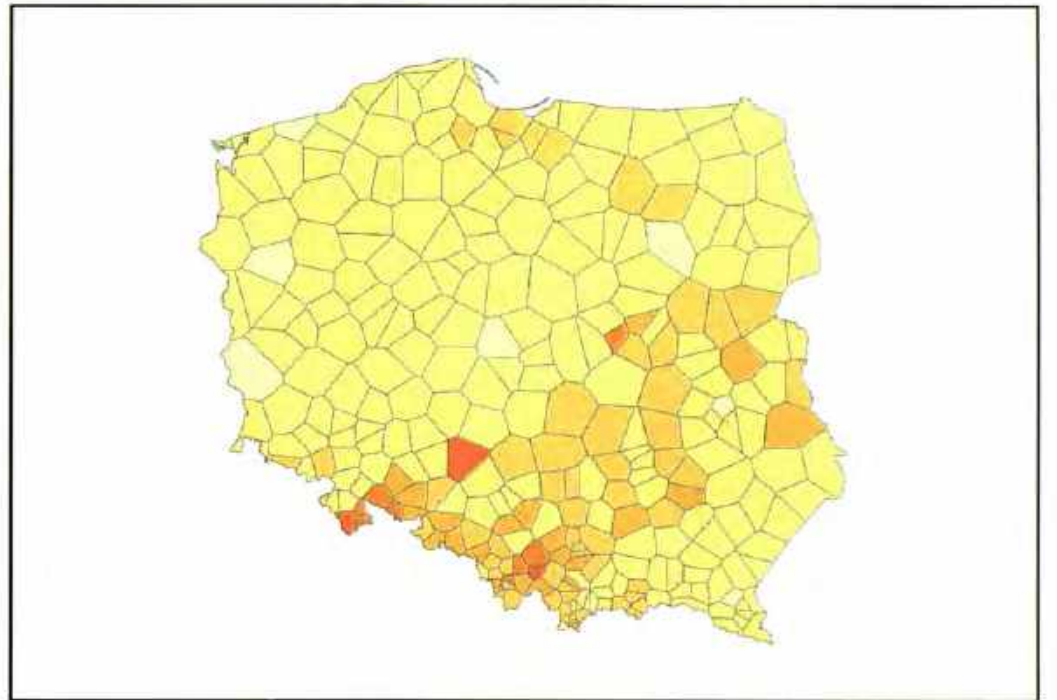
Поскольку загрязнение цезием-137 представляет собой непрерывное поле, лучше всего показать его на карте с помощью изолиний. Изолинии, соединяя точки с одинаковыми значениями уровня загрязнения, отражают его пространственную изменчивость и выявляют вариабельность полей загрязнения.

D.1.1. Полигоны Вороного

Полигоны Вороного, называемые также полигонами Тиссена [D1], использовались, чтобы разделить каждую страну на части, отражающие фактическую плотность пробоотбора. Каждый полигон связан с одним или несколькими измерениями загрязнения в одном и том же месте (для многократных измерений с одинаковыми координатами бралась средняя арифметическая величина). Характерным для полигонов Вороного является то, что любая точка на данном полигоне геометрически ближе к своей точке измерения, чем к измерению, определяющему любой другой полигон. Следовательно, территории, заполненные небольшими полигонами, отражают высокую плотность измерений и наоборот. Например, из приведенного ниже примера видно, что измерения сосредоточены на юге Польши, а другие области обследованы менее детально.

Fig D.2 Example: Voronoi polygons for the sampling points in Poland

Рис. D.2. Пример полигонов Вороного для точек опробования в Польше:



Необходимо отметить, что каждая точка измерений «отвечает» за уровень загрязнения на некоторой площади в своих окрестностях, которые далеко не всегда совпадают с размерами и конфигурациями полигонов Вороного. Размеры этих окрестностей зависят от многих причин. А именно: от особенностей поля аварийного загрязнения, имеющего характер следов и пятен, от близости к аварийному реактору, от рельефа местности и характера загрязненного ландшафта, от характера и интенсивности осадков во время распространения радиоактивного «облака» и струи над Европой и других причин. Поэтому не следует считать полигоны Вороного отражением реальной структуры поля загрязнения. Это лишь первичная модель, основанная на тех данных, которыми мы располагали для дальнейшего построения карт в изолиниях.

D.1.2. Используемый метод интерполяции

D.1.2.1. Общие положения

Когда изучаемая переменная непрерывна по своей природе, естественна попытка реконструировать эту непрерывность. Это можно сделать с помощью методов интерполяции, оценивающих значения переменной там, где пробы не отбирались.

Наиболее часто применяемый в нашем случае метод интерполяции содержит допущение о том, что величины в точках наблюдений коррелированы в пространстве, т.е., чем ближе две точки в местности, тем больше вероятность того, что они близки и по значению уровня загрязнения. Исходя из этого допущения, близлежащим точкам по отношению к известной приписывается больший вес. Наиболее общепринятая весовая функция описана методом «обратного расстояния» (OP) [D2], именно этот метод наиболее часто использовался для построения карт. Методу OP было отдано предпочтение в силу того, что он легко применим и

D.1.2.2 The inverse distance weighted interpolation method

The inverse distance weighted interpolation method is defined by:

where $d_1, ..., d_n$ are the distances from each of the sample locations to the point v being estimated and $v_1, ..., v_n$ are the sample values. The weights are made inversely proportional

$$\hat{v}_i = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} v_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \tag{1}$$

to the power p of the distance which controls the significance of surrounding points upon the interpolated value. As p decreases, the weights given to the samples become more similar. As p is increased, the individual weights become more dissimilar and almost no weight is given to distant samples so that the local variability becomes more important.

When processing the data, two parameters have to be defined: the search for neighbourhoods and the value of the exponent.

The search for neighbourhoods. Two options were considered in defining a “nearby” sample. Neighbours can be defined by convention as a minimum number of samples or by a maximum radius of search. Using small values for either of these two parameters would increase local variation in the deposition patterns. The preferred approach was to use a search radius when it was possible to define the range of influence of neighboured points. This can be done with the help of spatial correlation functions, eg, the semi-variogram which describes the spatial continuity of the data [D3,D4].

The semi-variogram can be defined as:

where $z(x)$ is the value of the variable (the level of deposition here) at point x . The distance and direction between x and $x+h$, defined by vector h , is termed the lag of the semi-

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \tag{2}$$

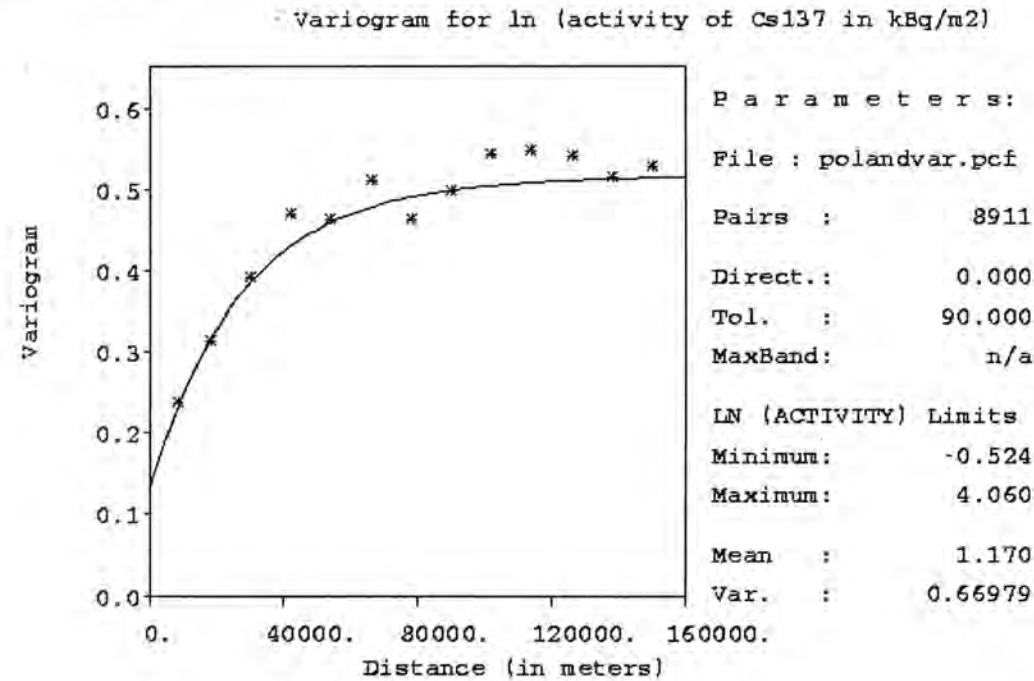
variogram. $N(h)$ is the number of pairs of observations separated by the lag. The range is defined as the distance at which the observations become independent. The sill is the maximum value reached at the range and is equal to the variance of independent observations.

Where possible, the maximum radius of search was defined by the range. Inside this radius, the first 6 neighbours were usually used for interpolation. The choice of 6 neighbours has been considered here as the best way to show the local variability of the deposition patterns and to reduce the smoothing effect without affecting too much the visualisation of the spatial continuity of the deposition patterns. The structure of the Voronoi diagrams, showing the topological weight of the data, has been also used in order to define the number of neighbours to use.

As indicated previously, the interpolation approach adopted here is a compromise given the resource and time constraints of the project. The whole topic of interpolation is one which deserves much more detailed analysis than is possible here [D5]. More detailed analysis could lead to the use of more optimal methods and provide greater confidence in the interpolated patterns of deposition.

An example of a semi-variogram is shown below (dataset of Poland)

Fig. D.3 Example of a semi-variogram for the Polish dataset
Рис. D.3 Пример семи-вариограммы, построенной по данным Польши



обеспечивает хороший компромисс между скоростью вычисления и качеством интерполяции. Использование более сложных средств немного увеличило бы необходимость в ресурсах, приведя к незначительным улучшениям полученных карт загрязнения. Недостаток применения метода ОР состоит в том, что используемые весовые функции могут привести к неопределенности, если экспериментальных данных недостаточно. Кроме того, рассматриваемый способ интерполяции является сглаживающей процедурой, обрабатывающей минимумы и максимумы, располагающиеся в точках измерений.

D.1.2.2. Метод интерполяции обратной весовой зависимости от расстояния («обратного расстояния»)

Метод интерполяции, наиболее часто применяемый при построении карт Атласа, описывается выражением (1):

где $d_1, ..., d_n$ - расстояния до места опробования до точки v , значения в которой оценивается, а $v_1, ..., v_n$ - значения загрязнения в точках опробования. Веса здесь обратно пропорциональны расстоянию в степени p . Эти веса определяют значимость окружающих известных значений для искомой величины. По мере уменьшения p веса, приписываемые точкам, становятся более значимыми. По мере увеличения расстояния и, соответственно, значения p , отдельные веса становятся весьма небольшими, и отдаленным точкам не приписывается почти никакого веса.

При обработке данных необходимо определить два параметра: радиус окрестности вокруг искомой точки, из которой будут отбираться известные значения с приданием им веса, и величину показателя p , описывающую уменьшение веса точки по мере удаления от искомой.

Радиус окрестности вокруг искомой точки.

Радиус окрестности вокруг искомой точки - важный параметр, который в отличие от полигонов Вороного определяет с той или иной степенью достоверности размеры территории, не превышающей размеров пятен загрязнения, которые должны быть зафиксированы на карте определенного масштаба. Как уже отмечалось, для полей с большими перепадами значений, характерными для чернобыльских выпадений, радиусы должны быть намного меньше, чем для плавных полей, преобладающих на больших расстояниях от места аварии или в периферийных частях следов загрязнения.

Искомый радиус, в случае неизвестного ранее впервые картографируемого региона, определялся с помощью пространственных автокорреляционных функций или с помощью построения полувариограмм, описывающих пространственную изменчивость поля [D3,D4] (2):

где $z(x)$ значение переменной (в нашем случае плотность загрязнения местности цезием-137) в точке x . Расстояние и направление между x и $x+h$, определенные вектором h , отображаются как запаздывание полувариограммы; $N(h)$ - число попарных наблюдений, разделенных запаздыванием (лагом). Радиус корреляции определяется как расстояние, на котором наблюдения становятся независимыми. Максимальное значение, достигнутое в пределах радиуса корреляции, равняется вариации независимых наблюдений.

Максимальное значение радиуса поиска определялось радиусом корреляции. Наиболее оптимальным способом отражения локальной вариабильности поля загрязнения и уменьшения влияния эффекта сглаживания без существенного воздействия на визуализацию пространственной непрерывности поля загрязнения в нашем случае являлся выбор шести окрестных точек. Структура полигонов Вороного, отражающих топологический вес данных, также использовалась для определения необходимого числа окрестных точек.

Как уже было указано выше, выбор процедуры интерполяции в нашем случае представлял собой компромисс между объемом ресурсов и временем, имеющимся в распоряжении участников проекта. С более полным освещением процедуры интерполяции можно ознакомиться в работе [D5]. Более подробный анализ мог бы потребовать выбора других методов и обеспечить большую надежность в картографическом представлении структуры радиоактивного загрязнения.

Ниже приводится пример полувариограммы (ряд данных Польши).

Показатель экспоненты (P). Поскольку влияние местных условий на формирование загрязнения неизвестно, выбор показателя был эмпирическим и производился с помощью перекрестных оценок. Данные случайно извлекались из первоначального ряда измерений и интерполировались с помощью увеличения значений степенного показателя. Затем они сравнивались с первоначальным рядом данных с целью выбора подходящих значений экспоненты. Этот метод применялся несколько раз для каждого ряда данных при уменьшении первоначальных данных на 5, 15, 25, 35, 45 и 55%. Было выбрано, что показатель экспоненты, равный двум, является наиболее подходящим.

Из-за большого количества данных, использовавшихся при картографировании, ожидается, что в случае изменения параметров примененного метода интерполяции, не произойдет заметных изменений структуры пятен загрязнения на большей части территорий, освещенных в Атласе.

D.2. Процедура картографирования по сети интерполированных величин

Во время процедуры интерполяции значения уровней загрязнения вычислялись в ровной сети с квадратной решеткой. Эту процедуру принято называть построением сети или грида. На основании реальной плотности отбора проб интерполированные значения определялись по ячейкам 2 км x 2 км для карт стран, для карт повышенного и высокого загрязнения ячейки были более мелкими. Такие густые сети точек позволяют, соединив равные значения, получить изолинии, отображающие непрерывное, но изменчивое поле загрязнения.

The value of the exponent. Because the underlying structure of the deposition pattern is not known, the exponent was estimated empirically with the help of cross validations. Data were randomly extracted from the original data-set and interpolated with increasing exponent values. The estimated values were then compared to the original ones in order to judge the appropriateness of the different values of the exponent. This method has been applied several times for each data-set with the removal of 5, 15, 25, 35, 45 and 55% of the original data. In general, an exponent of value 2 provided the best fit.

Due to the large number of data used in the interpolation, it is judged that plausible changes in the parameters of the IDW method would not lead to major differences in the deposition patterns in most of the maps presented in the atlas.

D.2 Mapping Procedure to Present the Interpolated Values

During the interpolation procedure, the estimated values of the variable at unsampled places were calculated on a regular square lattice grid. This procedure is often referred as “gridding”. The gridded values can then be converted into a Cartesian matrix consisting of rows and columns. The intersection of the columns and the rows generate cells to which are attributed the value describing the analysed feature. The conversion of an area into such a matrix is known as rasterisation.

In general, rasterised data can be presented in two different ways: by a raster or by isolines. In the case of raster presentation (also called pixel map) every cell is coloured as a function of its value or by isolines. Because of the large variation in the deposition levels, presenting the data in raster format would not have been ideal as it would have required a different colour for every deposition value. It would then have been difficult to see differences between the colours for small variations in the levels of the deposition patterns. Therefore, the use of isolines was chosen to symbolise the continuity of the deposition patterns. Because not all deposition levels can be presented, the reader should recognise that the use of contour intervals always hides the underlying variability of the deposition patterns.

On the basis of the general sampling density, the resolution of the raster data was defined by cells of 2 by 2 km for all countries. It should, however, be clear to the reader that the estimation of unknown values for each cell in cases of low density of sampling locations is not realistic. It was, however, the only way to keep our techniques as standard as possible, and to facilitate the comparison between the maps. Readers of the atlas should exercise caution when trying to understand or interpret the deposition patterns and should refer to the associated maps presenting the Voronoi diagrams. Subjective judgement played an important role in finalising the maps of deposition. Subjectivity occurred mainly in the interpolation of areas with clustered data and with a high variability. These areas had to be filtered as the number of associated isolines were too high and hid the general pattern. This phenomenon, often encountered when using the IDW interpolation method and generally referred as “bullseyes” effect, can be partly avoided by using resampling techniques which select only the median, the mean, or the most frequent value of surrounding data. The choice of the smoothing technique was based on cross validation techniques and the visual comparison of the original map and its smoothed version.

The users of the Atlas should not forget that a map is a model of reality, rather than the reality *per se*. The formal-mathematical procedure of interpolation and computerised mapping is a simplification of the reality as it does not take into account all peculiarities of the environment which have determined the deposition patterns.

D.3 Application of the procedures

The procedures described above were used to prepare the maps for all countries and at all scales. The maps for Belarus, Russia and Ukraine were further refined using information not specifically available within the joint project. In this process, account was taken of the totality of the measured data (as opposed to aggregated data available in the project), their relative quality or reliability, and the characteristics of different surfaces (eg, forests, industrial areas, agricultural land, etc) onto which deposition was measured or being interpolated.

[D1] A H Thiessen, “Precipitation average for large areas”, Monthly Weather Review 39, pp.1082-1084 (1911)
[D2] R F Walters, “Contouring by machine: a user’s guide”, American Association Petroleum Geologists Bulletin 53, pp. 2324-2340 (1969)
[D3] A G Journel and Ch J Huijbregts, “Mining Geostatistics”, Academic Press (1978)
[D4] Y Pannatier, “VARIOWIN. Software for spatial data analysis in 2D”, Springer Verlag (1996)
[D5] N S Lam, “Spatial interpolation methods: a review”, The American Cartographer 10(2), pp. 129-149 (1983)

Исходя из наиболее распространенной густоты опробования, разрешение растровых данных было задано ячейкой со стороной 2 км для всех стран. При этом читатель должен понимать, что в случаях разреженной сети измерений дать реалистичную оценку неизвестного значения уровня загрязнения в каждой такой ячейке является допущением. Тем не менее, это была единственная возможность применения как можно более стандартизированной методики построения карт. Поэтому читатели Атласа, предпринимая попытки интерпретации полей загрязнения, должны обращаться к соответствующим картам, представляющим полигоны Вороного.

Пользователям Атласа не следует забывать о том, что карта - это модель реальной действительности, а не сама действительность, которая может оказаться в ряде мест значительно более изменчивой, чем это показано на карте. Формально-математическая процедура интерполяции и компьютерного картографирования не может учесть всех особенностей окружающей среды, которые установили формирование реального поля загрязнения. Однако, полученные нами карты, особенно, для территорий с высокой густотой опробования имеют высокую достоверность, т.к. опираются на высокоточные измерения, полученные при помощи самой современной аппаратуры.

D.3. Проведение процедуры картографирования

Описанная выше процедура использовалась при построении карт всех стран Европы. В Беларуси, России и на Украине еще до начала работ по проекту были составлены подробные карты загрязнения цезием-137, при этом использовались методы, аналогичные вышеописанным, но информация была более подробной. В частности, при проведении изолиний загрязнения принимались во внимание ландшафтные характеристики (например, выделялись леса, районы промышленной застройки, сельскохозяйственные угодья).

[D1] А. Х. Тиссен, «Среднее количество осадков для обширных территорий», ежемесячный обзор погоды №39, с 1082-1084 (1911) (на англ. языке)
[D2] Р. Ф. Валтерс, «Нанесение контуров с помощью механизма: справочник пользователя», Бюллетень №53 Американской ассоциации нефтяных геологов, с 2324-2340 (1969) (на англ. языке)
[D3] А.Г. Джорнел и Ч. Дж. Хейбергтс, «Геостатистика рудников», Академик Пресс (1978) (на англ. языке)
[D4] Й. Паннатье, «VARIOWIN. Программа для анализа пространственных данных в двух измерениях», Спрингер Верлаг (1996) (на англ. языке)
[D5] Н. С. Лам, «Методы пространственной интерполяции: обзор», Американский картограф 10(2), с 129-149 (1983) (на англ. языке)

APPENDIX E
INTERFACE BETWEEN DEPOSITION AND OTHER GEOGRAPHICAL
FEATURES

The significance of the deposits of caesium-137 on the territory of Europe depends on the nature of the underlying surface and uses made of it. For example, had all deposits occurred on sparsely populated areas of the Arctic the radiological impact on man would have been considerably less than had all deposits occurred over areas of high population density or agricultural production. The inter-relation between the distribution of deposition and distributions of such quantities as the population and agricultural production is essential in determining the radiological and environmental impact of a given deposit. While the assessment of environmental impact goes far beyond the scope of this atlas, information on a number of relevant geographic features is presented to enable the reader to gain a better appreciation of how they relate to the distribution of deposited caesium-137. Maps on a European scale are presented for the distribution of population density [E1,E2], soil type [E3], vegetation-land use [E4] and elevation [E5]. (See Plate 65)

[E1] SERLL News, Issue No.1, January 1991, Birkbeck College, London, UK
[E2] D Rhind. "Cartographically-related research at Birkbeck College 1987-91" in "The Cartographic Journal", Vol. 28, June 1991, pp. 63-66.
[E3] FAO-Unesco Soil Map of the World; UNEP/GRID 1986 Version.
[E4] "Global Vegetation Index Users' Guide (rev. Oct. 1990)", comp. and ed. by K B Kidwell. Available from the US Department of Commerce, US National Oceanic and Atmospheric Administration
[E5] "European 30 arc-second Digital Elevation Model (DEM)", EROS Data Centre, US

ПРИЛОЖЕНИЕ E
СВЯЗЬ МЕЖДУ РАДИОАКТИВНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ И
НЕКОТОРЫМИ ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Значимость загрязнения территорий цезием-137 в Европе зависит от характера и особенностей землепользования. Если бы были загрязнены малонаселенные районы Арктики в результате аварии, радиологическое воздействие на человека было бы значительно меньше, чем если бы наибольшему загрязнению подверглись районы с высокой плотностью населения или сельскохозяйственным производством. Взаимозависимость распределения загрязнения и таких географических характеристик, как численность населения и структура землепользования, является основополагающим при определении радиологического воздействия загрязнения и его влияния на окружающую среду. Информация о перечисленных географических характеристиках также приводится в Атласе, чтобы читатель мог провести сопоставление этих характеристик с уровнями загрязнения цезием-137. В этом приложении в обзорном масштабе представлена карта плотности населения [E1, E2], почвенная карта [E3], карта растительности и землепользования [E4], карта рельефа [E5]. (см. рис. 65)

[E1] Новости SERLL, Выпуск №1, январь 1991 г., Биркбек колледж, Лондон, Великобритания (на англ. языке)
[E2] Д. Ринд, «Связанные с картографией исследования в Биркбек колледже в 1987-1991 гг.» в «Картографическом журнале», том 28, июнь 1991 г., с 63-66 (на англ. языке)
[E3] ФАО-ЮНЕСКО Почвенная карта мира; UNEP/GRID издание 1986 г. (на англ. языке)
[E4] «Алфавитный указатель мировой растительности. Справочник для пользователя. (переработан в окт. 1990 г.)», собран и издан К. Б. Кидвелл. Имеется в Министерстве Торговли США. Национальная Администрация США по океанам и атмосфере (на англ. языке)
[E5] «Европейская 30 арк-секундная цифровая модель возвышенности (DEM)» Центр данных ЭРОС, США (на англ. языке)

APPENDIX F - ПРИЛОЖЕНИЕ F
NATIONAL CONTACT POINTS - ADDITIONAL DATA SOURCES
СПИСОК ЛИЦ, ПРЕДОСТАВИВШИХ ДОПОЛНИТЕЛЬНУЮ
ИНФОРМАЦИЮ ПО СВОИМ СТРАНАМ

Data sources and national contact points

Data were largely, but not solely, provided through designated national contact points; bold type-face is used to identify the latter

Источники данных и национальные контактирующие организации

Данные представлялись не только национальными контактирующими организациями, в тексте они выделены жирным шрифтом

Austria - Австрия

E Henrich, Bundeskanzleramt, Sektion VI, Wien
W Ambach, University of Innsbruck, Inst. für Medizinische Physik, Innsbruck
P Bossew, Österr.Ökologieinstitut, Gamma-Meßstelle, Wien
P Brunner, Versuchsstelle für Umweltanalytik und Strahlenschutz, Innsbruck
M Ditto, BALUF Wien, Wien
T Falkner, UBA Wien, Wien
K Fink, Amt der Stmk. LReg, Graz
E Fleck, Wien
M Friedrich, BALUF Wien, Wien
F Gatternig, UBA Klagenfurt, Klagenfurt
M Gerzabek, ÖFZS, Seibersdorf
J Graf, Agrolinz Melamin, Linz
H-G Heintschel, Institut für Umweltmedizin, Wien
E Hiesel, UBA Wien, Wien
J Jordan, BALU Innsbruck, Innsbruck
P Karacson, NÖ.Landesregierung, Wien
V Karg, BALUF Wien, Wien
K Kienzl, UBA Wien, Wien
P Kindl, TU Graz, Graz
J Krischan, Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.12S, Klagenfurt
R Kronraff, BALU Linz/STS, Linz
H Lettner, Universität Salzburg, Institut für Physik und Biophysik, Salzburg
E Lovranich, ÖFZS, Seibersdorf
F-J Maringer, Bundesversuchsanstalt Arsenal, Geotechnisches Inst., Wien
S. Meisel, TU Graz, Reaktorinstitut, Graz
S Mohamad, ÖFZS, Seibersdorf
G Mraz, Österr. Ökologieinstitut, Gamma-Meßstelle, Wien
K Mück, ÖFZS, Seibersdorf
H Müller, TU Graz, Graz
Palfrader, Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Versuchsanstalt (LUVA), Rotholz, Tirol
E Plantosar, LKH Graz, Prüfstelle für Strahlenschutz, Graz
H Rabitsch, TU Graz, Graz
H Ramesmeyer, Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abt. Maschinenbau, Eisenstadt
J Scherer, Umweltinstitut Vorarlberg, Bregenz
F Schönhofer, BALUF Wien, Wien
S Sperker, Amt der OÖ Landesregierung, Abt. U-LS, Linz
H Spreizer, LKH Graz, Prüfstelle für Strahlenschutz, Graz
J Stöhr, Landesforstdirektion Tirol, Innsbruck
F Strebl, ÖFZS, Seibersdorf
J Striedner, UBA Klagenfurt, Klagenfurt
M Tschurlovits, Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Wien
A Wenisch, Österr. Ökologieinstitut, Gamma-Meßstelle, Wien
A Zoner, Agrolinz Melamin, Linz

Belarus - Беларусь

I I Matveenکو, Republic Centre of Radiatioan and Environment Monitoring, Minsk
И.И.Матвеенко, Республиканский Центр по радиации и мониторингу окружающей среды, Минск

Belgium - Бельгия

G Verduyn, Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie, Brussel

Bulgaria - Болгария

E Vapirev, Faculty of Physics, Sofia University

Czech Republic - Чехия

I Bucina, National Radiation Protection Institute, Prague
V Kler, National Institute of Public Health, Centre of Radiation Monitoring Network of Czech Republic, Centre of Radiation Hygiene, Prague
I Malatova, National Institute of Public Health, Centre of Radiation Monitoring Network of Czech Republic, Centre of Radiation Hygiene, Prague

Croatia - Хорватия

D Cesar, Institute for Medical Research and Occupational Health, Department of Radiation Protection, Zagreb
Z Franic, Institute for Medical Research and Occupational Health, Department of Radiation Protection, Zagreb
G Marovic, Institute for Medical Research and Occupational Health, Department of Radiation Protection, Zagreb
J Sencar, Institute for Medical Research and Occupational Health, Department of Radiation Protection, Zagreb
I Valcic, Ministry of the Economy, Departement of Nuclear Safety, Zagreb

Denmark - Дания

A Aarkrog, Risø National Laboratory, Roskilde

Estonia - Эстония

E Realo, Institute of Physics, Estonian Academy of Sciences, Tartu

Finland - Финляндия

A Rantavaara, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki

France - Франция

M Métivier, IPSN/DPEI/SERE, CE Cadarache, St.-Paul-Lez-Durance
G Linden, Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Le Vesinet

Germany - Германия

G Meurin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
H Bonka, Rheinisch-Westfälisch Technische Hochschule Aachen, Aachen
Rönsch, Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

Greece - Греция

P Kritidis, Environmental Radioactivity Laboratory, Institute of Nuclear Technology - Radiation Protection, NCRPS “Democritos”, Athens
S E Simopoulos, Mechanical Engineering Department, Nuclear Engineering Section, National Technical University of Athens, Athens

Hungary - Венгрия

I Nikl, “Frederic Joliot-Curie” National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene, Budapest
A Andrási, KFKI-Atomic Energy Research Institute, Budapest
B Kanyar, University of Veszprem, Veszprem
I Végvári, “Frederic Joliot-Curie” National Research Institute for Radiobiology and Radiohygiene, Budapest
P Zombori, KFKI-Atomic Energy Research Institute, Budapest
National Institute of Food Investigation, Budapest

Ireland - Ирландия

D Pollard, Radiation Protection Institute of Ireland, Dublin
T Ryan, Radiation Protection Institute of Ireland, Dublin

Italy - Италия

C Giovani, Azienda Ospedaliera S. Maria della Misericordia di rivevo nazionale e di alta specializzazione, Udine
R Padovani, Azienda Ospedaliera S. Maria della Misericordia di rivevo nazionale e di alta specializzazione, Udine
S Piermattei, ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente), Roma
Minach, Labor für physikalische Chemie, Südtiroler Landesregierung, Bolzano

Latvia - Латвия

Dambis, Radiation and Nuclear Safety Inspection, Riga
A Jansone, Radiation and Nuclear Safety Inspectorate, Ministry of Environmental and Regional Development of Latvian Republic, Riga
G Matisone, Latvijas Republikas Satiksmes ministrija, Valsts Hidrometeorologijas Parvalde, Riga

Lithuania - Литва

S Motiejunas, Environmental Protection Department of the Republic of Lithuania, Vilnius
A Daubaras, Environmental Protection Ministry of the Republic of Lithuania, Vilnius

Luxemburg - Люксембург

M Feider, Direction de la Santé, Division de la Radioprotection, Luxembourg

Netherlands - Нидерланды

R O Blaauboer, Laboratorium voor Stralingsonderzoek, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven

Norway - Норвегия

L Skuterud, Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås
F Ugletveit, Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås

Poland - Польша

S Sterlinski, Central Laboratory for Radiological Protection, Warsaw
J Jagielak, Central Laboratory for Radiological Protection, Warsaw

Portugal - Португалия

A Ortins de Bettencourt, Radiation Protection Department, Direcção Geral do Ambiente, Sacavém

Romania - Румыния

S Sonoc, Institute of Environmental Research and Engineering, Bucharest
C Dovlete, Institute of Environmental & Engineering Research, Environmental Radioactivity Laboratory, Bucharest

Russia - Россия

Yu A Izrael, Institute of Global Climate and Ecology, Moscow
A A Fedotkin, Scientific Technical Enterprise “Aerogeophisic”, Moscow
V M Kertzman, Scientific Technical Enterprise “Aerogeophisic”, Moscow
R S Kontarovich, Scientific Technical Enterprise “Aerogeophisic”, Moscow
V P Martynenko, Scientific Technical Cooperation “Taifun”, Obninsk
M V Nikiforov, All Russian Scientific Research Institute of Agricultural Meteorology, Obninsk
V V Reshetov, Scientific Technical Cooperation “Nevskegeologia”, Saint Petersburg
S M Vakulovsky, Scientific Industrial Cooperation “Taifun”, Obninsk
Ю.А. Израэль, Институт глобального климата и экологии, Москва, Россия
А.А. Федоткин, Научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика», Москва, Россия
Р.С. Контарович, Научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика», Москва, Россия

В.М. Керцман, Научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика»
Москва, Россия
В.П. Мартиненко, Научно-производственное объединение «Тайфун», Обнинск, Россия
С.М. Вакуловский, Научно-производственное объединение «Тайфун»,
Обнинск, Россия
М.В. Никифоров, Всероссийский научно-исследовательский институт сельско-
хозяйственной метеорологии, Обнинск, Россия
В.В. Решетов, Научно-производственное предприятие «Невскгеология», Санкт-
Петербург, Россия

Slovak Republic - Словакия
M Vldar, Institute of Preventive and Clinical Medicine, Bratislava

Slovenia - Словения
M Gregoric, Ministry of Environment and Regional Planning, Slovenian Nuclear Safety
Administration, Ljubljana
M Andjelov, Institute for Geology, Geotechnics and Geophysics, Ljubljana
D Brajnik, Jozef Stefan Institute, Ljubljana
M Kanduc, Institute of Occupational Safety, Ljubljana
R Martincic, Jozef Stefan Institute, Ljubljana

Spain - Испания
A Travesi, CIEMAT/IMA, Madrid
E Gil López, Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid

Sweden - Швеция
H Mellander, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm
Swedish Geological Survey, Uppsala

Switzerland - Швейцария
H Völkle, Section of Environment Radioactivity, Federal Office of Public Health, Fribourg
C Murith, Section of Environment Radioactivity, Federal Office of Public Health, Fribourg

Turkey - Турция
E Birol, Turkish Atomic Energy Authority, Radiological Health and Safety Department,
Ankara

Ukraine - Украина
L Ya Tabachnyi, Minchernobyl, Kiev
A Bondar, Main Administration of Geodesy, Cartography and Cadaster at the Cabinet of
Ministry of Ukraine, Kiev
V Giri, Institute of Radioecology, Kiev
A Kosovetz, V Vol’shev, State Committee of Hydrometeorology of Ukraine, Kiev
G G Poturidis, Minchernobyl, Kiev
Л. Я. Табачный, Минчернобыль, Киев
Ф. Бондарь, Главное Управление по геодезии, картографии и кадастрам Совета
Министров Украины, Киев
В. Гирий, Институт радиоэкологии, Киев
А. Косовец, В.Вольшев, Государственный Комитет по гидрометеорологии Украины,
Киев
Г.Г.Потуридис, Минчернобыль, Киев

United Kingdom - Великобритания
B Wilkins, National Radiological Protection Board, Chilton
D Sanderson, Scottish Universities Research and Reactor Centre, East Kilbride
British Nuclear Fuels plc
Scottish Nuclear
Scottish Office Environment Department
Ministry of Agriculture Fisheries and Foods
HTV
District Councils of Cunninghame, Kilmarnock, London, Kyle, Carrick

APPENDIX G - ПРИЛОЖЕНИЕ G
DATA SOURCES - BIBLIOGRAPHY
ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ - БИБЛИОГРАФИЯ

Only data sources that have been used for producing the total caesium-137 deposition
values are referenced. Although some national contact points did send data (eg, Albania,
Bulgaria, Portugal) the type of measurements were not suitable for use in this atlas
Использовались только источники, представляющие данные непосредственных
измерений загрязнения местности цезием-137.
Некоторые наиональные контактирующие организации представили данные
(например, Албания, Болгария, Португалия), которые не могли быть использованы
по причине отсутствия информации о типе измерений.

Austria - Австрия
W Ambach, W Rehwald, M Blumthaler, H Eisner, P Brunner, “Vertical Dispersion of
Chernobyl-Fallout by Meltwater in a Temperate Alpine Glacier”, Geografia Fisica e
Dinamica Quaterniana 12, p. 151-153 (1989)

W Ambach, M Blumthaler, P Brunner, H Eisner, W Rehwald, “Aktivitätsprofile des
Tschernobyl-Fallout auf Gletschern Tirols”, Polarforschung 59,1/2 p. 5-8 (1989) - in
German

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung und Bundesministerium für Gesundheit,
Sport und Konsumentenschutz: Beweissicherung Kernkraftwerk Temelin, “Zwischenbericht
1992”, Linz - in German

P Bossew, M Ditto, Th Falkner, E Henrich, K Kienzl, U Rappelsberger, “Cäsiumbelastung
der Böden Österreichs”, 2. Erweiterte Auflage, Monographien Band 60, Umweltbundesamt,
Wien (May 1989) - in German

P Bossew, A Wenisch, G. Mraz, “Untersuchung der radioaktiven Belastung durch die
Reaktorkatastrophe von Tschernobyl im Gebiet des Nationalparks Hohe Tauern. Bericht
des Ökologieinstituts”, Wien (May 1989) - in German

P Bossew, “Radiologische Messungen im Gebiet der Koralpe (Steiermark/Kärnten)”, Bericht
des Ökologieinstituts, Wien, Dezember, (1991) - in German

P Bossew, G Mraz, E K Prinzenstein, O Schmoll, A Wenisch, “Untersuchung der
Bodenkontamination mit ¹³⁷Cs durch den Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 in bisher in
Österreich noch nicht untersuchten Gebieten. Österreichisches Ökologieinstitut”, Studie im
Auftrag des Umweltministeriums, Wien (July 1992) - in German

M Gerzabek, S Algader, W Loibl, M Suda, “Erhebung der ¹³⁷Cs-Bodenkontamination -
Erstellung einer Österreichkarte”, Zwischenbericht an das Bundesministerium für
Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz. Seibersdorf (1993) - in German

I Nemeth, E Lovranich, E Urbanich, P Zombori, A Andrasi, F Steger, “Calibration of a HP-
Germanium Detector for Rapid *In-Situ* Determination of Environmental Radioactivity”,
Report ÖFZS-4461, Seibersdorf (August 1988)

J Scherer, “Radioaktive Belastung von Böden in Vorarlberg”, Schriftenreihe Lebensraum
Vorarlberg, Bregenz, Band 18. Umweltinstitut Vorarlberg, (April 1994) - in German

F Steger, E Lovranich, E Urbanich, J Kozuh-Schneeberger, S Streit, Ch Friedmann, A.
Hefner, F. Rust, W. Enzenberger, “Durchführung von Meßfahrten in Österreich zur
Feststellung und Bestimmung von Radioaktivitäts-Depositionen nach Tschernobyl in
Gebieten mit erhöhter Belastung durch *In-situ*-Messungen mit einem HP-
Germaniumdetektor. Durchführung einer Meßfahrt zur Überwachung der grenznahen
Region von Laa/Thaya durch Radiojod-, Plutonium-239(240)- und Strontium-90-
Immissionsmessungen”, Bericht des ÖFZS, Seibersdorf, Dezember 1988, im Auftrag des
Bundeskanzleramtes, Sektion VII (Strahlenschutz) - in German
F Steger, E Lovranich, E Urbanich, S Streit, J Kozuh-Schneeberger, “Durchführung von
Meßfahrten im Rahmen der Überwachung grenznaher Regionen Österreichs durch
Radiojod- und Aerosol-Immissionsmessungen, sowie Bodenuntersuchungen auf
Plutonium, Strontium und gammastrahlende Radionuklide”, Ergebnisbericht, Seibersdorf,
1990, im Auftrag des Bundeskanzleramtes, Sektion VII (Strahlenschutz) - in German

F Steger, K Mück, E Lovranich, E Urbanich, “Die Bestimmung der Abwascheffekte
radioaktiver Depositionen im urbanen Bereich durch "In situ-Messungen" mit einem HP-
Germaniumdetektor”, Ergebnisbericht, Seibersdorf, 1990, im Auftrag des
Bundeskanzleramtes, Sektion VII (Strahlenschutz) - in German

F Steger, E Lovranich, E Urbanich, S Streit, J Kozuh-Schneeberger, “Durchführung von
Meßfahrten im Rahmen der Überwachung ausländischer Kernkraftwerke in grenznahen
Regionen Österreichs durch Radiojod- und Aerosol-Immissionsmessungen, sowie
Bodenuntersuchungen auf Plutonium, Strontium und gammastrahlende Radionuklide”,
Bericht OEFZS-A--2140, Seibersdorf, November 1991, im Auftrag des Bundesministeriums
für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz (Strahlenschutz) - in German

A Wenisch, E K Prinzenstein, G Mraz, G Reisenbauer, I Besenbäck, K Hirschmüller, P
Bossew, “Ergänzende Messungen der Bodenbelastung mit ¹³⁷Cs durch den Reaktorunfall in
Tschernobyl 1986 in Österreich”, Österreichisches Ökologieinstitut, Studie im Auftrag des
Umweltministeriums, Wien (June 1994) - in German

Belarus - Беларусь
See Russia.
I I Matveenko, personal communications
См. «Россия».
И. И. Матвеенко, личное сообщение

Belgium - Бельгия
Studiecentrum voor Kernenergie, Mol, “A compendium of the measurements related to the
Chernobyl nuclear accident”, Report BLG-595, 124 pp. (January 1987)

G Verduyn, Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie, Brussel
personal communications

Croatia - Хорватия
D Cesar, Z Franic, G Marovic, J Sencar; Institute for Medical Research and Occupational Health, Department of Radiation Protection, Zagreb
personal communications

I Valcic, Ministry of the Economy, Departement of Nuclear Safety, Zagreb
personal communications

Czech Republic - Чехия
I Bucina, National Radiation Protection Institute, Prague
personal communications

Denmark - Дания
A Aarkrog, L Botter-Jensen, Chen Qing Jiang, H Dahlgaard, H Hansen, E Holm, B Lauridsen, S P Nielsen and J Sogaard-Hansen, “Environmental radioactivity in Denmark in 1986”, Report RISOE-R-549, 272 pp. (November 1988)

Estonia - Эстония
E Realo, J Jogi, R Koch and K Realo, “Areal and depth distribution of radiocaesium in Estonian natural soils”, Pro. Estonian Acad. Sci. Ecol. 4, No 2, p. 45-55 (1994)

E Realo, Institute of Physics, Estonian Academy of Sciences, Tartu
personal communications

Finland - Финляндия
H Arvela, M Markkanen and H Lemmelä, “Mobile Survey of environmental gamma radiation and fall-out levels in Finland after the Chernobyl accident”, Radation Protection Dosimety, Vol. 32 No. 3, p. 117-184 (1990)

France - Франция
G Linden, Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Le Vesinet, “Tableaux mensuels des mesures de l’OPRI”
Office de Protection contre les Rayonnements Ionisants, 31 rue de l’Ecluse, B. P. 35, F-78110 Le Vesinet
(Data transmitted to JRC-Ispira on diskette)

Germany - Германия
Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, “Auswirkungen des Unfalls im Kernkraftwerk Tschernobyl auf Bayern”, p. 35-69 (February 1987) - in German

I Gans, H Viertel and I Winkelmann, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, “Bodenkontamination in der Bundesrepublik Deutschland nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Jahr 1986”
(Data sent on diskette to JRC-Ispira on 25.01.89)

Kernforschungsanlage Jülich GmbH - Abteilung Sicherheit und Strahlenschutz, “Radioaktivitätsmessungen nach dem Reaktorunglück Tschernobyl”, ASS Bericht nr. 0444, 68 pp. (1986) - in German

G Meurin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
personal communications

Rönsch, Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin
personal communications

I Winkelmann, H-J Endrulat, S Fouasnon, P Gesewsky, R Haubelt, P Klopfer, H Kohler, R Kohl, D Kucheida, M-K Müller, H Schmidt, K Vogl, S Weimer, H Wildermuth, S Winkler, E Wirth and S Wolff, Institut für Strahlenhygiene des BGS, “Ergebnisse van Radioaktivitätsmessungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl”, Report ISH-HEFT99, 89 pp. (September 1986) - in German

M Winter, H Völcke, J Narrog, P Meier and K Kirchoff, Fachverband für Strahlenschutz E.V., “Die radioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland und in der Schweiz nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl”, 74 pp. (October 1986) - in German

Greece - Греция
Greek Atomic Energy Commission, Nuclear Research Center Demokritos, Athens, “The consequences of the Chernobyl nuclear accident in Greece”, Report DEMO 86/4, 80 pp. (July 1986)

P Kritidis and E Papanicolaou, “Correlation of radioactive deposition and contamination of vertain products with caesium after the Chernobyl accident”, Proc. Nation. Symp. “Impact of the Chernobyl accident in Greece”, GAEC, Athens, 19-20 November 1987, p. 105-112

P Kritidis, H Florou and E Papanicolaou, “Delayed and late impact of the Chernobyl accident on the Greek environment”, Radiation Protection Dosimetry Vol 30, No 3, p. 187-190 (1990)

E Papanicolaou and P Kritidis, “Contamination of the agricultural land of Greece with radioactive caesium and its effect on the growing crops”, Proc. Intern. Conf. “Environmental Radioactivity in the Mediterranean Area”, Barcelona, 10-13 May 1988, p. 457-466

S E Simopoulos, National Technical University of Athens, “Soil sampling and Cs-137 analysis of the Chernobyl fallout in Greece”, Applied radiation and isotopes, Vol. 40, Nr. 7, p. 607-613 (1989)
(Data fully published in report MPX-2 of NTUA - data transmitted to JRC-Ispira on diskette by S. E. Simopoulos on April 21, 1989)

S E Simopoulos, National Technical University of Athens, Update of NTUA—89D1 data, data transmitted to JRC-Ispira on diskette by S. E. Simopoulos on April 26, 1990

S E Simopoulos, National Technical University of Athens, data transmitted to JRC-Ispira on diskette by S. E. Simopoulos on November 15, 1990
“The consequences of the Chernobyl nuclear accident in Greece”, DEMO 86/3G and DEMO 86/4, July 1986
“The consequences of the Chernobyl nuclear accident in Greece”, DEMO 86/10G and DEMO 86/9, December 1986

Hungary - Венгрия
A Andrasi, E Beleznay, S Deme, I Feher, L Koblinger, Gy Lancsarics, E Lang, M Loerinc, Gy. Nagy, I Sagy, P P Szabo, G Tokai and P Zombory, Central Research Institute for Physics, Budapest, “Monitoring the radiation consequences due to the disaster at the Chernobyl nuclear facility from April 28 to June 12, 1986”, preliminary report KIFI-1986-49/K, 40 pp. (1986)

T Biro, I Feher and L B Sztanyik, Hungarian Atomic Energy Commission, Budapest, “Radiation consequences in Hungary of the Chernobyl accident”, 34 pp. (July 1986)

B Kanyar, University of Veszprem
personal communications

I Végvári and I Nikl, “In situ gamma spectrometry measurements in Hungary during the period of 1987-1995”, Proc. IAEA-CN-63/179 International Conference One Decade after the Chernobyl accident, Vienna (1996)

Ireland - Ирландия
I R McAulay and D Moran, Physics Department, Trinity College, Dublin, “Radiocaesium fallout in Ireland from the Chernobyl accident”, Journal of Radiological Protection, vol. 9 nr. 1, p. 29-32 (1989)
(Original data obtained by personal communication from I. R. McAulay)

D Pollard, Radiation Protection Institute of Ireland, Dublin
personal communications

T Ryan, “Nuclear Fallout in the Irish Terrestrial Environment”, Ph.D thesis submitted to University College, Dublin (1991)

Italy - Италия
F Caracciolo, ENEA-DISP, Roma, “A data bank for the Italian measurements after the Chernobyl accident”
(Data transmitted to JRC-Ispira on tape in January 1988)

R Cazzaniga, G Dominici, A Malvicini and E Sangali, European Commission, Joint Research Centre - Ispira, “Incidente nucleare di Cernobil aprile 1986 - ripercussioni sulla catena alimentare e sull’uomo”, Report EUR 11226 IT, 156 pp. (1987) - in Italian

C Giovanni and R Padovani, Azienda Ospedaliera S. Maria della Misericordia di rievio nazionale e di alta specializzazione, Udine
personal communicatios

S Piermattei, Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente, Roma
personal communications

Latvia - Латвия
G Matisone, Latvijas Republikas Satiksmes ministrija, Valsts Hidrometeorologijas Parvalde, Riga
personal communications

Lithuania - Литва
A Daubaras, Environmental Protection Ministry of the Republic of Lithuania, Vilnius
personal communications

Luxemburg - Люксембург
M Feider, Direction de la Santé, Division de la Radioprotection, Luxembourg
personal communications

Netherlands - Нидерланды
RIVM Library, Bilthoven, “Door de CCRX verzamelde resultaten van metingen van de radioaktieve verontreiniging van de biosfeer in Nederland 1986”, Report MR 88-01, 83 pp. (December 1988) - in Dutch

Norway - Норвегия
S Backe, H Bjerke, A L Rudjord and F Ugletveit, “Deposition of caesium in Norway after the Chernobyl accident”, National Institute of Radiation Hygiene, report 1986:6 - in Norwegian

Poland - Польша
J Jagielak, M Biernacka, J Henschke, A Sosinska, M Baranowski and R Jankowski, “Radiation Atlas of Poland”, Central Laboratory for Radiological Protection, Warsaw (1992)

J Henschke and M Biernacka, Central Laboratory for Radiological Protection, Warsaw
personal communications

Portugal - Португалия

A. Ortins de Bettencourt, Direcção Geral do Ambiente, Departamento de Protecção e Segurança Radiológica, Sacavém
personal communications

Romania - Румыния

C Dovlete, Institute of Environmental & Engineering Research, Environmental Radioactivity Laboratory, Bucharest
personal communications

Russia - Россия

A A Abagyan, Yu A Izrael, L I Ilyin, V A Legasov et al., “Chernobyl NPP accident and its consequences. Information presented by the Soviet experts to IAEA”, July 1986, Atomic-Energy, Vol. 61, No 5, p. 301-320

Yu A Izrael, V A Vetrov, S M Vakulovsky, V N Petrov, F Ya Rovinsky and E D Stukin, “Chernobyl: radioactive contamination of natural environments”, Leningrad: Gidrometeoizdat, 296 pp.

Yu A Izrael, V N Petrov, S I Avdyushin, N K Gasilina, F Ya Rovinsky, V A Vetrov and S M Vakulovsky, “Radioactive contamination of natural environments in the zone of the Chernobyl NPP”, Meteorolgy and Hydrology, No 2, p. 5-18, (1987)

“Data on caesium-137 and strontium-90 radioactive contamination of settlements in the Rusian Soviet Federative Socialist Republic (June 1989), Moscow, Gidrometeoizdat, 56 pp., (1989)

Pravda, 1989, March 20th; Pravda 1990, April 17th - in Russian

Yu A Izrael, I M Nazarov, Sh D Fridman, S I Avdyushin, E V Kvasnikova, R S Kontarovich, E V Imshennik and N M Shushurina, “Radiation situation on the territory of the European part of CIS and Urals in 1991”, Meteoroloy and Hydrology, No 11, p. 5-14, (1992) - in Russian

Yu A Izrael, E V Kvasnikova, I M Nazarov and Sh D Fridman, “Global and regional caesium-137 radioactive contamination of the European territory of the former USSR”, Meteoroloy and Hydrology, No 5, p. 5-9, (1994) - in Russian

E V Kvasnikova, E D Stukin, Sh D Fridman and N M Shushurina, “Primary radioecological division into districts of the territories contaminated from the Chernobyl NPP accident”, Geokhimiya, No 7, p. 1030-1043, (1993) - in Russian

Yu A Izrael, I M Nazarov, Sh D Fridman and E V Kvasnikova, “Caesium-137 radioactive contamination of the territory of the European part of the CIS in 1992 resulted from the Chernobyl nuclear power plant accident. Art. Collection of IGCE - The techniques and some results of airborne gamma survey of radioactive contamination of the European part of Russia”, St-Petersburg: Gidrometeoizdat, p. 16-51, (1994) - in Russian

E A Nefedova, Yu A Izrael, E V Kvasnikova, I M Nazarov and Sh D Fridman, “Atlas on radioactive contamination of Russia - a summary of radioactive monitoring”, 17th Conference and 10th General Assembly of the Internaional Cartographic Association, Institut Cartografic de Catalunya, Espana, p. 2681-2685, (1995)

“Map on radiation situation on the territory of the European part of the USSR (state in December 1990). Caesium-137 terrain contamination density. Strontium-90 terrain contamination density. Plutonium 239+240 terrain contamination density. 1:5000,000”, Ed. Yu A Izrael, Authors (radiation situation): Yu A Izrael, S I Avdyushin, S M Vakulovsky, N K Gasilina, E V Kvasnikova, R S Kontarovich, I M Nazarov, M V Nikiforov, E D Stukin, Sh D Fridman, Yu S Tsaturov, Ts I Bobovnikova and E V Imshennik, published by Minsk Cartographic Enterprise under GUGK SSSR, (1991)

“Map on radiation situation on the territory of the European part of the CIS and Baltic countries (state in January 1993). 1:2,500,000”, Ed. Yu A Izrael, Authors (radiation situation); from Russia: Yu A Izrael, Sh D Fridman, I M Nazarov, E V Kvasnikova, E V Imshennik, Yu S Tsaturov, V V Chelyukanov, E D Stukin, R S Kontarovich, V M Kerstman, A F Fedotkin, S I Avdyushin, N M Shushurina, S M Vakulovsky, V P Martynenko, A V Lapin, V A Looper, M V Nikiforov, V V Reshetov; from Ukraine: G G Poturidis, L V Skudnova, L Ya Tabachny, A A Kosovets, L BMartyniuk, V A Sitak; from Belarus: M G Germenchuk, I I Matveenکو, Yu M Pokumeyko, published by Committee on Geodesy under Council of Ministers of Republic Belarus, Minsk, (1993)

“Map on caesium-137 radioactive contamination of the European part and Ural region of Russia (state in January 1993). 1:500,000”, Ed. Yu A Izrael, Authors: Yu A Izrael, Sh D Fridman, I M Nazarov, E V Kvasnikova, E V Imshennik, Yu S Tsaturov, V VChelyukanov, S I Avdyushin, R S Kontarovich, V M Kerstman, A F Fedotkin, , E D Stukin, V P Martynenko, M V Nikiforov, V V Reshetov, S M Vakulovsky, V A Looper, published by Urals Cartographic Enterprise under Roskartographiya, (1993)

A. А. Абагян, Ю. А. Израель, Л. И. Ильин, В. А. Легасов, и др. «Чернобыльская аварии и ее последствия. Информация, представленная советским экспертами в МАГАТЭ» Атомная энергия, т. 61, №5, с. 301-320.

Ю. А. Израедь, С. М. Вакуловский, В. А. Ветров, В. Н. Петров, Ф. Я. Ровинский, Е. Д. Стукин, «Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред». Под ред. Ю.А.Израеля – Гидрометеориздат, 1990 г., 296 с.

Ю. А. Израедь, В. Н. Петров, С. И. Авдюшин, Н. К. Гасилина, Ф. Я. Ровинский, В. А. Петров, С. М. Вакуловский, «Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне Чернобыльской АЭС» Метеорология и гидрология, №2, 1987 г., с. 5-18.

«Данные плотности загрязнения местности цезием-137 и стронцием-90 по населенным пунктам Российской Советской Федеративной Социалистической Ресублики (по состоянию на июнь 1989 г.) Москва, Гидрометеориздат, 1989 г., 56 с.

Газета «Правда», 1989 г., 20 марта; Газета «Правда», 1990 г., 17 апреля.

Ю. А. Израель, И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман, Е. В. Квасникова, Е. В. Имшенник, Н. М. Шушарина, С. И. Авдюшин «Радиационная обстановка на территории европейской части СНГ и Урала в 1991 г.» Метеорология и гидрология, №11, 1992 г., с. 5-14.

Ю. А. Израель, Е. В. Квасникова, И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман, «Глобальное и региональное радиоактивное загрязнение цезием-137 еввропейской территории бывшего СССР» Метеорология и гидрология, №5, 1994 г., с. 5-9.

Е. В. Квасникова, Е. Д. Стукин, Ш. Д. Фридман, Н. М. Шушарина, «Первичное радиоэкологическое районирование территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС.» Геохимия, №7, 1993 г., с. 1030-1043.

Ю. А. Израель, И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман, Е. В. Квасникова, «Радиоактивное загрязнение цезием-137 территории европейской части СНГ в 1992 г. в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции. Методика и некоторые результаты авиационной гамма-съемки радиоактивного загрязнения европейской части России.» Сб. стстей ИГКЭ. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1994 г., с. 16-51.

«Карта радиационной обстановки на территории европейской части СССР по состоянию на декабрь 1990 года. 1:500 000. Плотность загрязнения местности цезием-137. Плотность загрязнения местности стронцием-90. Плотность загрязнения местности плутонием-239+340» Под ред. Ю. А. Израеля. Авторы (радиационная обстановка): Ю. А. Израель, С. И. Авдюшин, С. М. Вакуловский, Н. К. Гасилина, Е. В. Квасникова, Р. С. Контарович, И. М. Назаров, М. В. Никифоров, Е. Д. Стукин, Ш. Д. Фридман, Ю. С. Цатуров, Ц. И. Бобовинкова, Е. В. Имшенник. Отпечатано на Минской картографической фабрике Главного Упрвления по геодезии и картографии СССР, 1991 г.

«Карта радиационной обстановки на территории европейской части СНГ и государств Балтии по состоянию на январь 1993 г.» М: 1:2 500 000. Под ред. Ю. А. Израеля. Авторы (радиационная обстановка)– от России: Ю. А. Израель, Ш. Д. Фридман, И. М. Назаров, Е. В. Квасникова, Е. В. Имшенник, Ю. С. Цатуров, С. И. Авдюшин, Н. М. Шушарина, С. М. Вакуловский, В. П. Мартыненко, А. В. Ланин, В. А. Лоопер, М. В. Никифоров, В. В. Решетов; от Украины – Г. Г. Потуридис, Л. В. Скуднова, Л. Я. Табачный, А. А. Косовец, Л. В. Мартынюк, В. А. Ситак; от Белоруссии: М. Г. Герменчик, И. И. Матveenкo, Ю. М. Покумейко. Отпечатано: Минск: Белкартография, 1993 г.

«Карта радиоактивного загрязнения европейской части м Уральского региона России цезием-137 (по состоянию на январь 1993 г.) 1:500 000» Под ред. Ю. А. Израеля. Фвторы: Ю. А. Израель, Ш. Д. Фридман, И. М. Назаров, Е. В. Красникова, Е. В. Имшенник, Ю. С. Цатуров, В. В. Челюканов, С. И. Авдюшин, Р. С. Контарович, В. М. Керцман, А, Ф. Федоткин, Е. Д. Стукин, В. П. Мартыненко, М. В. Никифоров, В. В. Решетов, С. М. Вакуловский, В. А. Лоопер. Отпечатано на Уральской картографической фабрике Роскартографии, 1993 г.

Slovak Republic - Словакия

M Vldar, Institute of Preventive and Clinical Medicine, Bratislava
personal communications

Slovenia - Словения

M Gregoric, Ministry of Environment and Regional Planning, Slovenian Nuclear Safety Administration, Ljubljana
personal communications

Spain - Испания

E Gil López, Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid
personal communications

Sweden - Швеция

F Edvarsson, “Fallout over Sweden from the Chernobyl accident, The Chernobyl fallout in Sweden”, Ed. L. Moberg, Swedish Radiation Protection Institute, (1991)

J Lindgren, Swedish Geological Survey, Uppsala
personal communications

H Mellander, “Airborne gamma spectrometric measurements of the fall-out over Sweden after the nuclear reactor accident at Chernobyl, USSR”, IAEA internal report IAEA/NENF/NM-89-1

H Mellander, Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm
personal communications

Switzerland - Швейцария

H Völkle and C Murith, Section of Environment Radioactivity, Federal Office of Public Health, Fribourg
personal communications

Turkey - Турция

E Birol, Turkish Atomic Energy Authority,
personal communications

Ukraine - Украины

See Russia.
L Ya Tabachnyi, private communication
См. «Россия».
Л. Я. Табачный, личное сообщение

United Kingdom - Великобритания

S J Baker and P A Cawse, “A Survey of radioactive caesium in soils of Cumbria and North Lancashire - Comparison of accumlations pre- and post- Chernobyl”, AEA Environment and Energy, AEA-EE-0047 (September 1990)

R S Cambray, P A Cawse, J A Garland, J A B Gibson, P Johnson, G N J Lewis, D Newton, L Salmon and B O Wade, “Observations on radioactivity from the Chernobyl Accident”, United Kingdom Atomic Energy Authority HARWELL, AERE R 12462, February 1987. Published in “Nuclear Energy” Vol 26, No 6, p.77-101 (April 1987)

P A Cawse, S J Baker and D Jenkins, “A post-Chernbyl survey of radionuclides in Wales, August-October 1986”, United Kingdom Atomic Energy Authority HARWELL, AERE R 12828 (March 1988)

A D Horrill, V P W Lowe and G Howson, “Chernobyl fallout in Great Britain”, ITE Project T07006el (DOE contract reference PECD 7/9/357), DOE Report No: DOE/RW/88.101 (September 1988)

D C W Sanderson and E M Scott, “An aerial radiometric survey in West Cumbria in 1988”, MAFF Food Science Report N611, Ministry of Agriculture, Fisheries and Foods, London (1989)

D C W Sanderson, B W East and E M Scott, “Aerial Radiometric survey of parts of North Wales in July 1989”, Scottish Universities Research and Reactor Centre, East Kilbride (1989)

D C W Sanderson, J D Allyson, E Martin, A N Tyler and E M Scott, “An Aerial Gamma-ray Survey of Three Ayrshire Districts”. Commissioned by the District Councils of Cunninghame, Kilmarnock and Loudoun, and Kyle and Carrick. (1990), Scottish Universities Research Reactor Centre, East Kilbride (1990)

D C W Sanderson, E M Scott and M S Baxter, “Use of Airborne Radiometric Measurements for Monitoring Environmental Radioactive Contamination”, IAEA SM-306/138, p. 411-421, Vienna (1990)

D C W Sanderson, E M Scott and M S Baxter, “The Use and potential of aerial radiometrics for monitoring environmental radioactivity”, in “Nuclear Contamination of Water Resources”, Institute of Civil Engineers, p. 99-106 (1990)

D C W Sanderson, J D Allyson, K J Cairns and P A MacDonald, “A brief Aerial Survey in the vicinity of Sellafield in September 1990”, Scottish Universities Research Reactor Centre, East Kilbride, 30 pp.

D C W Sanderson, J D Allyson and A N Tyler, “An aerial gamma ray survey of Chapelcross and it’s surroundings in February 1992”, Scottish Universities Research Reactor Centre, East Kilbride, 30 pp. (1992)

D C W Sanderson, J D Allyson and A N Tyler, “An aerial gamma ray survey of Springfields and the Ribble Estuary in September 1992”, Scottish Universities Research Reactor Centre, East Kilbride, 46 pp. (1993)

D C W Sanderson, J D Allyson, G Gordon, S Murphy, A N Tyler and S Fisk, “An Aerial Gamma Ray Survey of Hunterston Nuclear Power Station in 14-15 April and 4 May 1994”, Scottish Universities Research Reactor Centre, East Kilbride, 23 pp. (1994)

D C W Sanderson, J D Allyson, S NI Ryan, G Gordon, S Murphy and S Fisk, “An Aerial Gamma Ray Survey of Torness Nuclear Power Station 27th-30th March 1994, Scottish Universities Research Reactor Centre, East Kilbride, 24 pp. (1994)

D C W Sanderson, J D Allyson and A N Tyler, “Rapid quantification and mapping of Radiometric data for Anthropogenic and Technologically Enhanced Natural Nuclides, in “Applications of uranium exploration data and techniques in environmental studies”, TECDOC 827, p. 197-216, IAEA, Vienna (1995)

D C W Sanderson, J D Allyson, A N Tyler, S NI Ryan and S Murphy, “An airborne Gamma Ray Survey of Parts of SW Scotland in February 1993”, Scottish Universities Research Reactor Centre, East Kilbride, 150 pp. (1994)

D C W Sanderson, J D Allyson, A N Tyler and E M Scott, “Environmental Applications of Airborne Gamma Spectrometry”, in “Applications of uranium exploration data and techniques in environmental studies”, TECDOC 827, p. 71-93, IAEA, Vienna (1995)

APPENDIX H
LIST OF TABLES AND FIGURES

Main Text	
Figure II.1: The damaged reactor	11
Figure II.2: Construction of the sarcophagus	11
Figure II.3: Daily release rate (and ± 50% error bars) of radioactive material into the atmosphere	12
Table II.1: Core inventory and some estimates of the total release of the more significant radionuclides during the CNPP accident	12
Table II.2: Definition of the various zones used to control exposures	13
Fig. III 1: Residual levels (in May 1996) of caesium-137 deposition from the atmospheric testing of nuclear weapons	15
Table III.1: Total caesium-137 deposition on Europe just after the Chernobyl accident	18
Table III.2: Areas in each country with caesium-137 deposition in excess of specified levels	19
Table IV.1 The factor by which the deposition levels of caesium-137 reported in the maps should be scaled to obtain deposition levels of caesium-134 and -137 at different times	19
Fig IV.1: Distribution, in December 1989, of deposited strontium-90 released in the Chernobyl accident	20
Fig IV.2: Distribution, in December 1989, of deposited plutonium-239 and plutonium-240 released in the Chernobyl accident	20
Table V.1: Characteristics of important natural terrestrial radionuclides	21
Figure V.1: Comparison of indicative annual average doses in 1998 from Chernobyl caesium-137 deposits with annual <i>per caput</i> doses in Europe from other sources of radiation exposure	23

Appendices

Fig.A.1 Trajectories of particle transport on 26 April, 1986 at 03.00 Moscow time	26
Fig.A.2 Trajectories of particle transport on 30 April, 1986 at 03.00 Moscow time	26
Fig.A.3 Trajectories of particle transport at height of 0,7 km	26
Fig.A.4 Trajectories of particle transport from the power plant region at the level of 925 hPa by 6-hour intervals from 24 April to 1 May 1986	27
Fig.A.5 Mean values in layer 0-500 m and 0-1000 m of wind direction and speed from 26 April to 1 May 1986 in the region adjacent to the Chernobyl nuclear power plant	27
Table A.1 Summary of differences in starting times of daily precipitation measurements	27
Fig. B.1 Spatial distribution of the caesium-137 deposition data used for the Atlas	29
Table B.1 Summary of data used in compiling the maps of caesium-137 deposition	30
Fig. D.1 Example: sampling points in Poland	33
Fig. D.2 Example: Voronoi polygons for the sampling points in Poland	33
Fig. D.3 Example of a semi-variogram for the Polish data-set	34

ПРИЛОЖЕНИЕ Н
СВОДКА ТАБЛИЦ И РИСУНКОВ

Основной текст	
Рисунок II.1. Разрушенный реактор	11
Рисунок II.2. Сооружение саркофага	11
Рисунок II.3. Ежедневный выброс радиоактивного материала в атмосферу (с ± 50 % погрешностью)	12
Таблица II.1. Радионуклиды, накопленные в активной зоне реактора к моменту аварии, и некоторые оценки суммарного выброса более значимых радионуклидов во время аварии на ЧАЭС	12
Таблица II.2. Зоны контроля за облучением населения	13
Рисунок III.1. Уровни загрязнения (Май 1996 г.) цезием-137 в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере	15
Таблица III.1. Суммарного загрязнение Европы цезием-137 Чернобыльской аварии (суммарное и чернобыльское загрязнение)	18
Таблица III.2. Территории в каждой стране с загрязнением местности цезием-137, превышающим определенные уровни	19
Таблица IV.2. Изменение во времени отношения активности ¹³⁴ Cs/ ¹³⁷ Cs и отношения их гамма-активности (в единицах испускаемого гамма-излучения)	19
Рисунок IV.1. Загрязнение (на декабрь 1989 г.) местности стронцием-90 в результате Чернобыльской аварии	20
Рисунок IV.2. Загрязнение (на декабрь 1989 г.) местности плутонием-239,240 в результате Чернобыльской аварии	20
Таблица V.1. Характеристики важных естественных радионуклидов в земной коре	21
Рисунок V.1. Сравнение средних годовых доз от загрязнения цезием-137 чернобыльского происхождения в 1998 г. и ежегодных индивидуальных доз от других источников облучения в Европе	23

Приложения

Рисунок А.1 Траектории переноса радиоактивности 26 апреля 1986 г. в 03.00 по московскому времени	26
Рисунок А.2 Траектории переноса радиоактивности 30 апреля 1986 г. в 03.00 по московскому времени	26
Рисунок А.3 Траектории переноса радиоактивности на высоте 0,7 км	26
Рисунок А.4 Траектории переноса радиоактивности из района аварийного реактора на высоте 925 гПа с 6-часовыми интервалами с 24 апреля по 1 мая 1986 г.	27
Рисунок А.5 Средние значения направления и скорости ветра с 26 апреля по 1 мая 1986 г. в слоях 0-500 м и 0-1000 м в ближайших к ЧАЭС районе	27
Таблица А.1 Различие во времени начала измерений суточной суммы осадков	27
Рисунок В.1. Пространственное распределение данных о загрязнении местности цезием-137, использованных для построения карт Атласа	29
Таблица В.1 Обзор информации о загрязнении местности цезием-137, использованной для подготовки карт	30
Рисунок D.1. Пример размещения точек опробования в Польше	33
Рисунок D.2 Пример полигонов Вороного для точек опробования в Польше	33
Рисунок D.3 Пример семи-вариограммы, построенной по данным Польши	34

Legend for map scales 1: 1 000 000 to 1: 2 500 000

Условные знаки для карт масштабов 1: 1 000 000 - 1: 2 500 000

Caesium-137 isoline - изолинии плотности загрязнения местности цезием-137

30km zone around the Chernobyl nuclear power plant
30 километровая зона вокруг Чернобыльской АЭС

International boundary - государственные границы

Major road - главные дороги

Major river - главные реки

Chernobyl nuclear power plant - Чернобыльская АЭС

Settlements - Населенные пункты:

National capital - столицы государств

Locality (by population) -
Населенные пункты с численностью населения, человек

1 000 000 - 5 000 000

250 000 - 1 000 000

100 000 - 250 000

25 000 - 100 000

10 000 - 25 000

Chernobyl NPP
Чернобыльская АЭС

KYIEV (KIEV)
КУЇВ

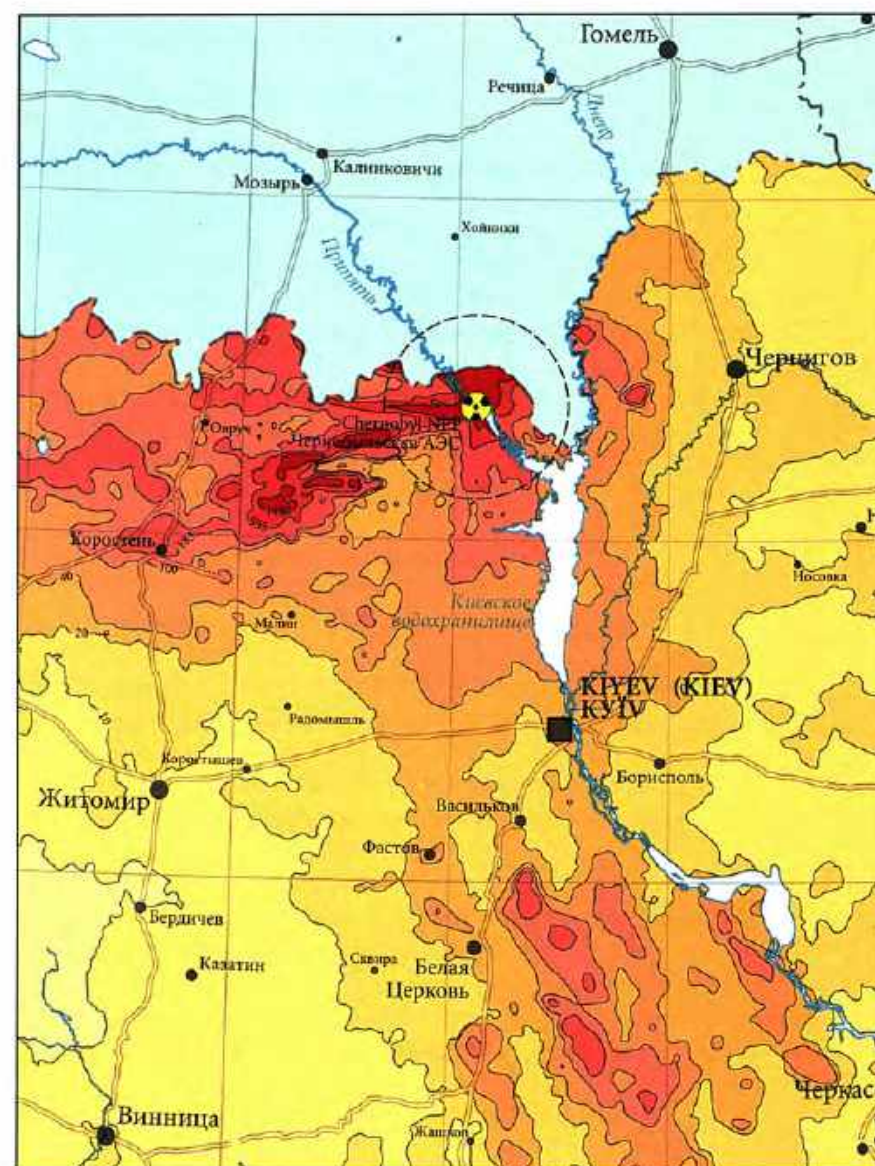
DONETSK
ДОНЕЦК

Житомир

Белая Церковь

Казатин

Сквира



Legend for map scales 1: 250 000 to 1: 500 000

Условные знаки для карт масштабов 1: 250 000 - 1: 500 000

Caesium-137 isoline - изолинии плотности загрязнения местности цезием-137

30km zone around the Chernobyl nuclear power plant
30 километровая зона вокруг Чернобыльской АЭС

International boundary - государственные границы

Regional boundary - границы административного деления внутри государств

Motorway - автомагистрали

Major road - главные дороги

Other road - другие дороги

Railway - железные дороги

Major river - главные реки

Chernobyl nuclear power plant - Чернобыльская АЭС

Settlements - Населенные пункты:

National capital - столицы государств

Locality (by population) -
Населенные пункты с численностью населения, человек

1 000 000 - 5 000 000

250 000 - 1 000 000

100 000 - 250 000

25 000 - 100 000

< 25 000

Chernobyl NPP
Чернобыльская АЭС

KYIEV (KIEV)
КУЇВ

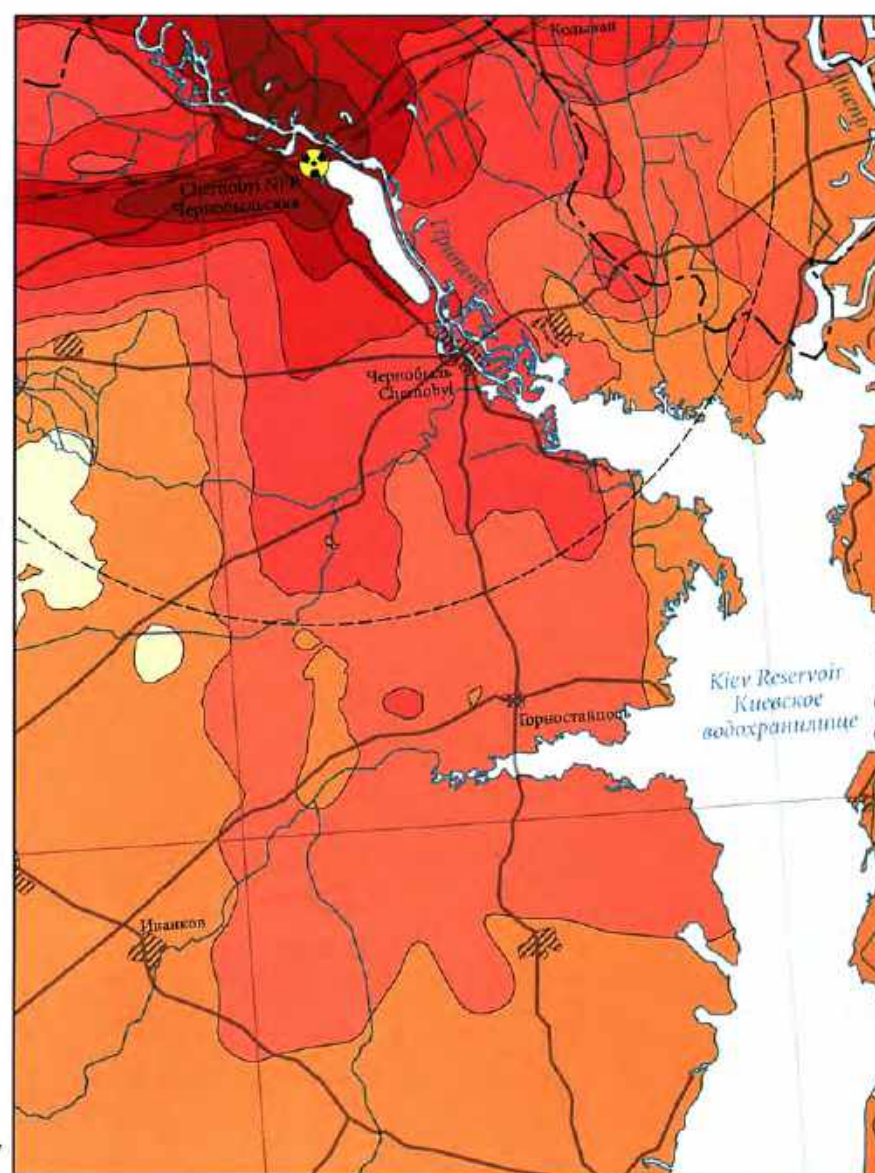
Sankt Peterburg
(St. Petersburg)
Санкт-Петербург

Чернигов





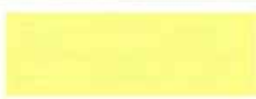
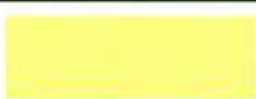
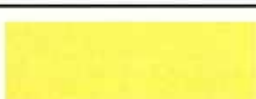




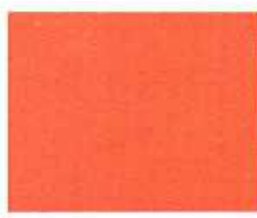













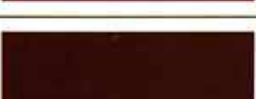




Колпино



Борисполь

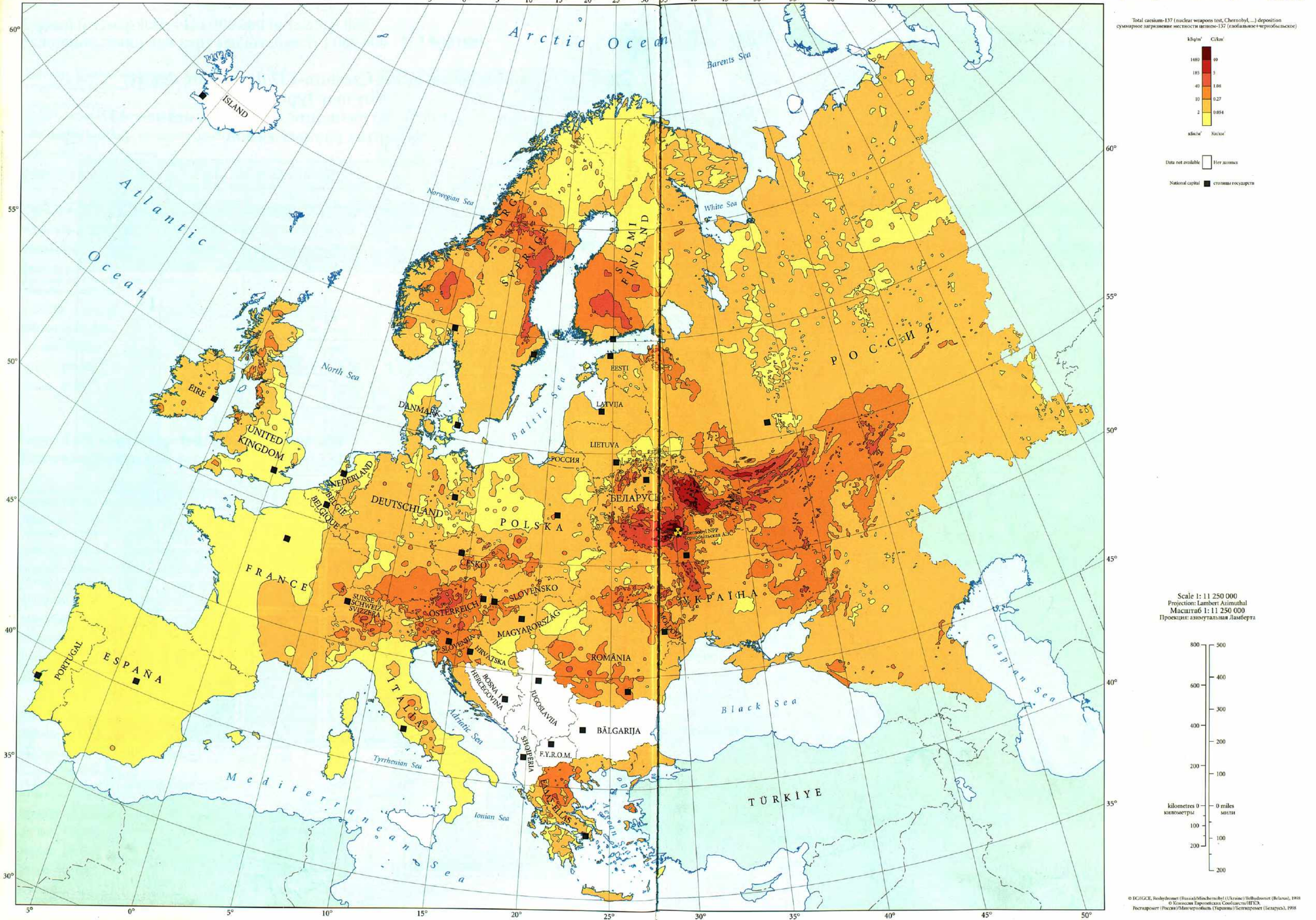
Овруч

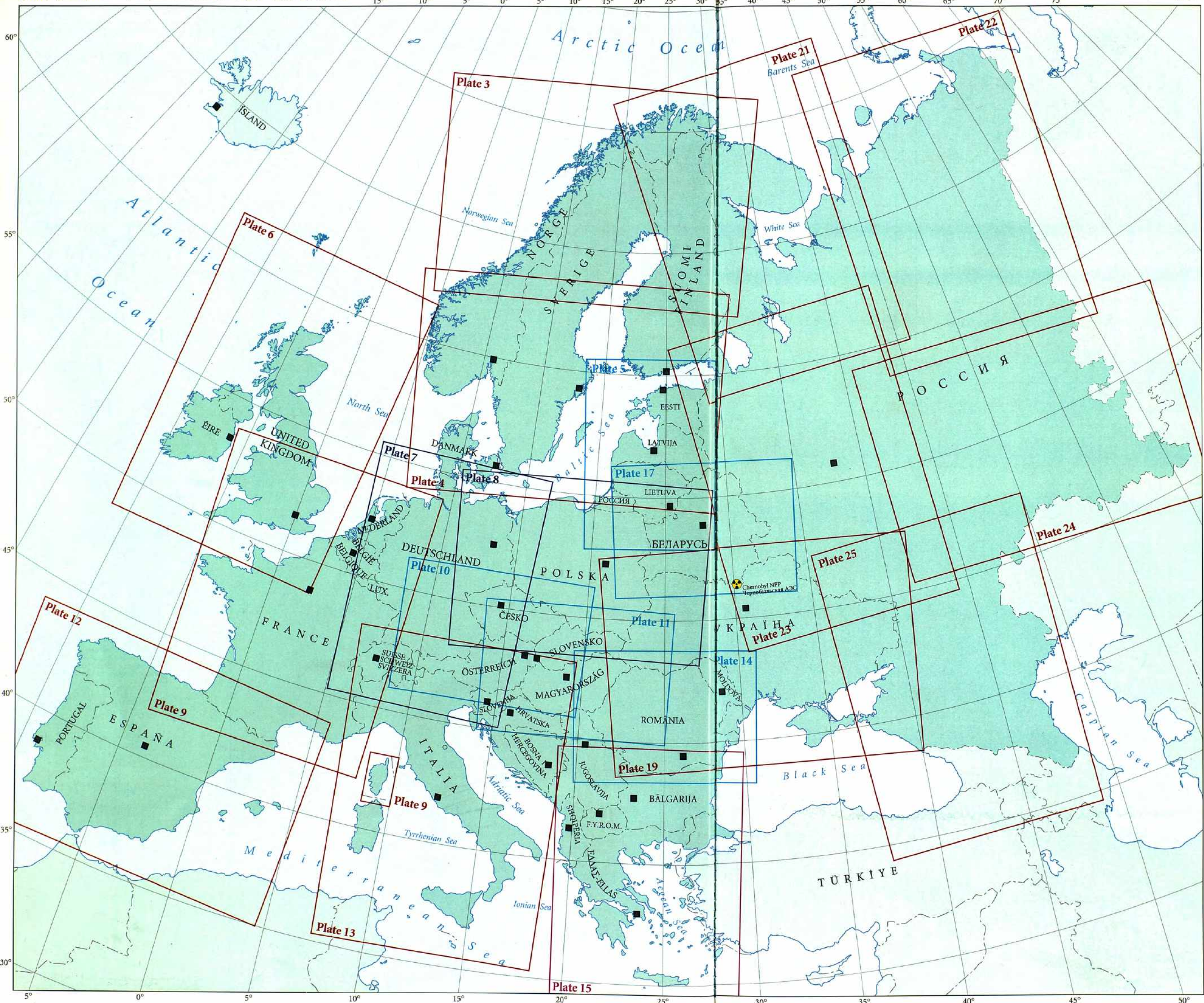


Isoline values of the Caesium-137 deposition density by map type Уровни плотности загрязнения местности цезием-137 на картах разных типов

Deposition levels Уровни загрязнения		Map type - тип карты				
		European карта Европы	Country карты государств	Local - Карты отдельных территорий		
				Area of higher deposition Территории с повышенными уровнями загрязнения >40 kBq/m ² >1.08 Ки/км ²	Area of highest deposition Территории с высокими уровнями загрязнения >1480 kBq/m ² >40 Ки/км ²	
kBq/m ² кБк/м ²	Ci/km ² Ки/км ²					
0	0					
1	0.027					
2	0.054					
4	0.1					
10	0.27					
20	0.54					
40	1.08					
100	2.7					
185	5					
555	15					
1480	40					
3700	100					
7400	200					
18500	500					
∞	∞					

No data available Нет данных	
Outside area of interest Территория за релевантной площадью	



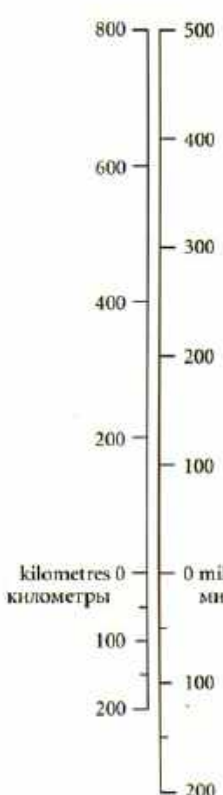


Key to map scales
Масштаб карт

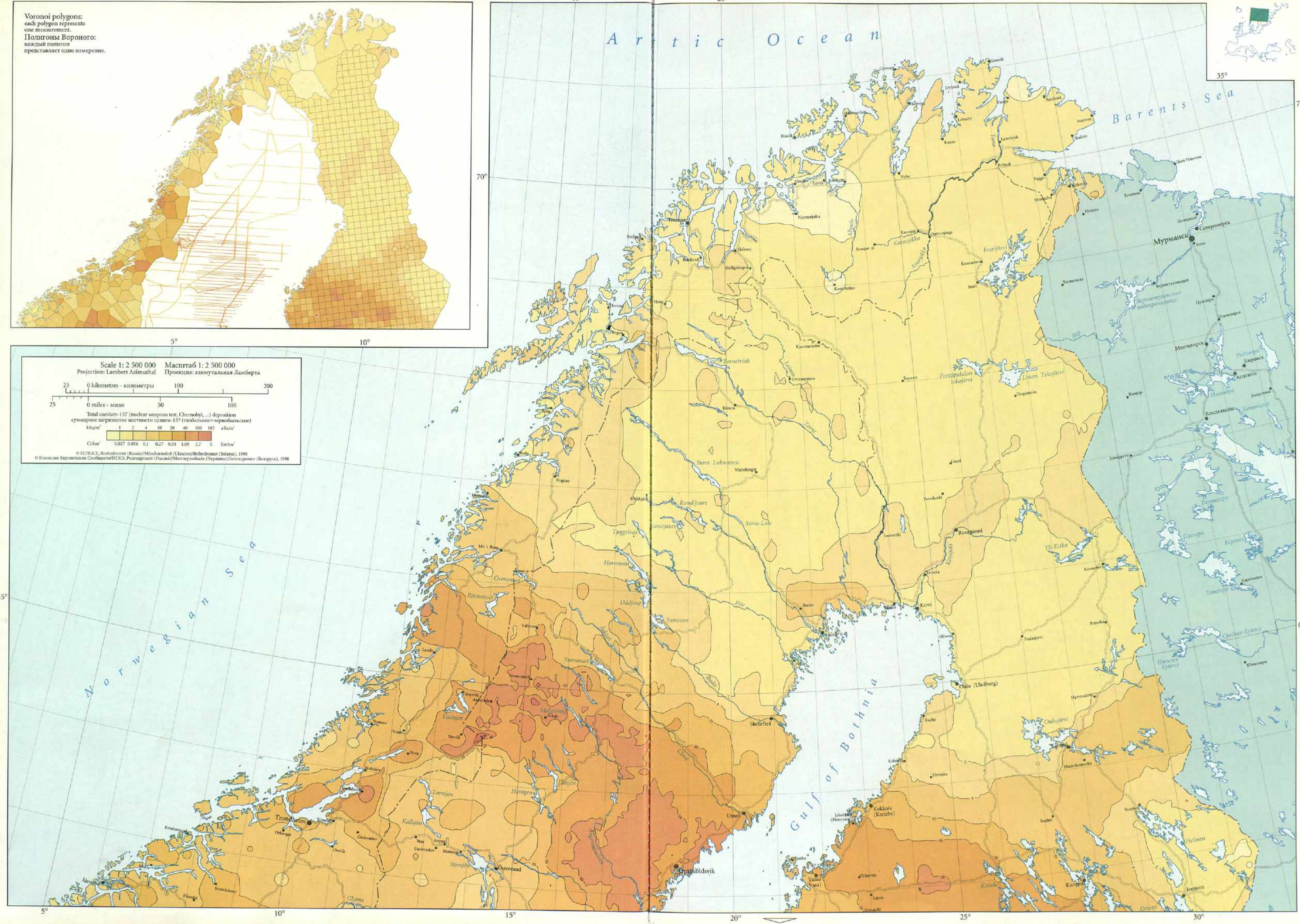
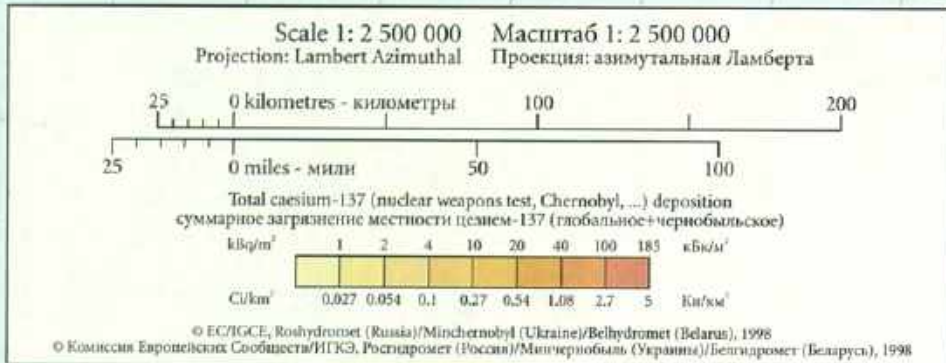
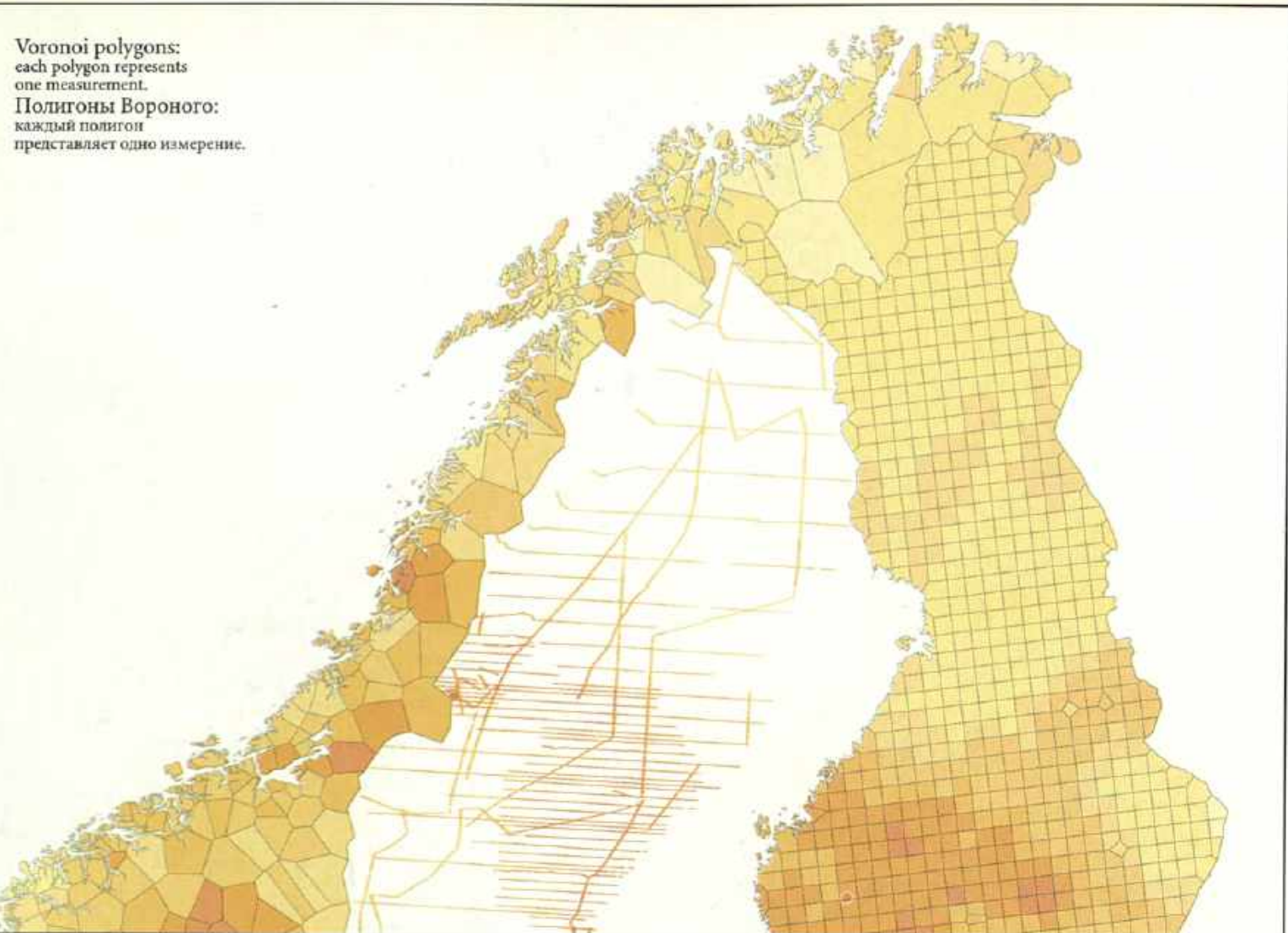
	1: 1 500 000
	1: 2 000 000
	1: 2 200 000
	1: 2 500 000

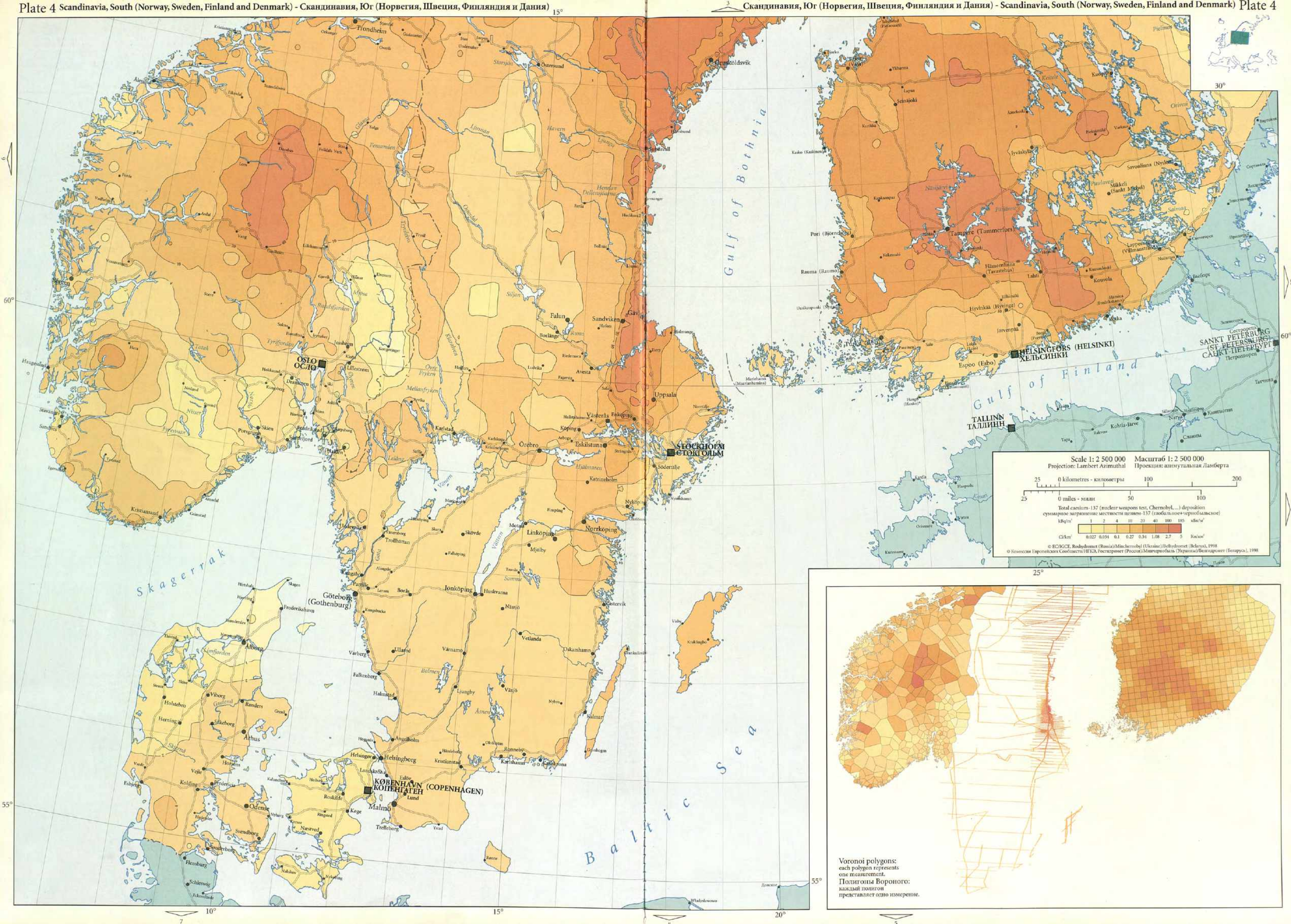
National capital ■ столицы государств

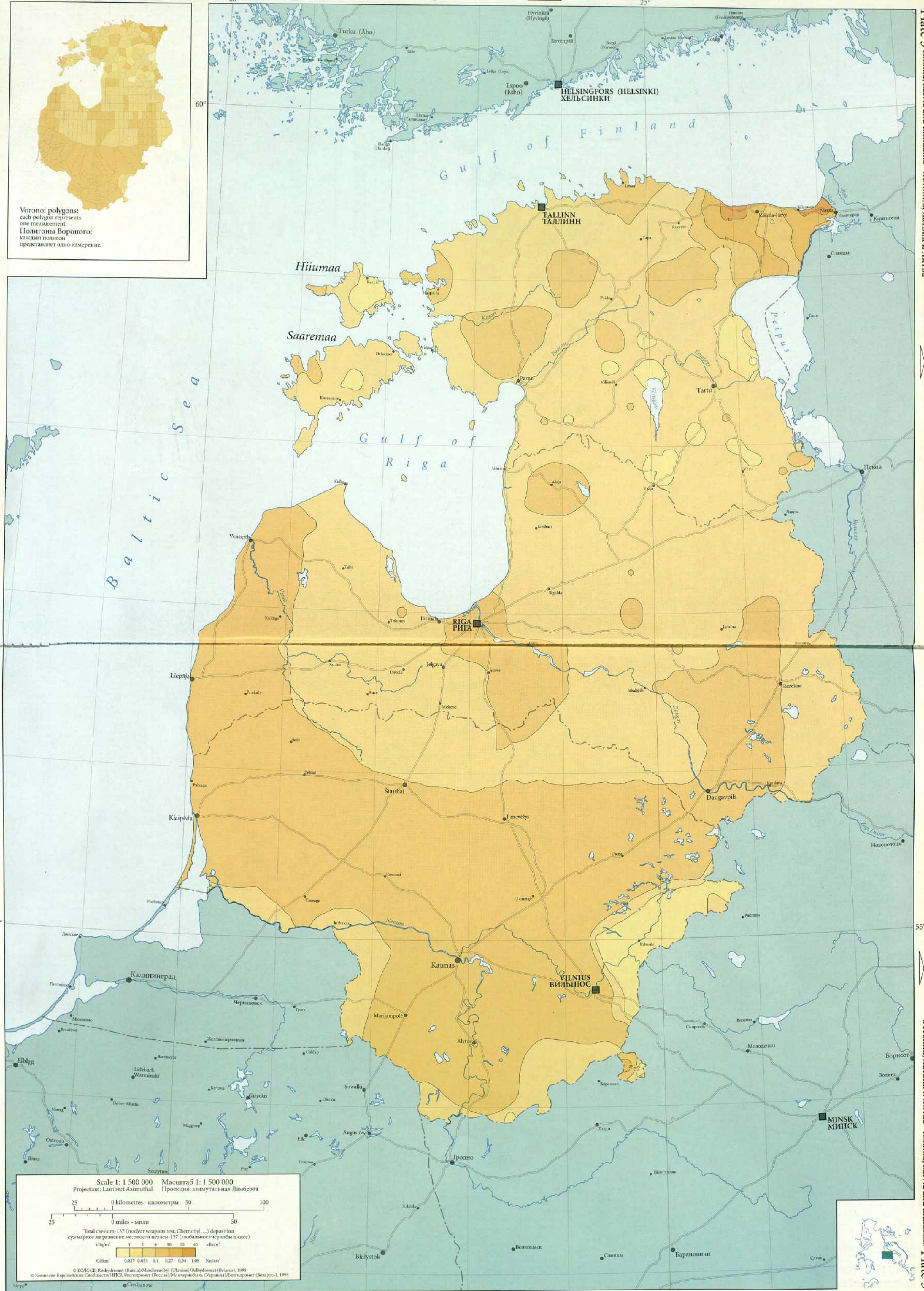
Scale 1: 11 250 000
Projection: Lambert Azimuthal
Масштаб 1: 11 250 000
Проекция: азимутальная Ламберта



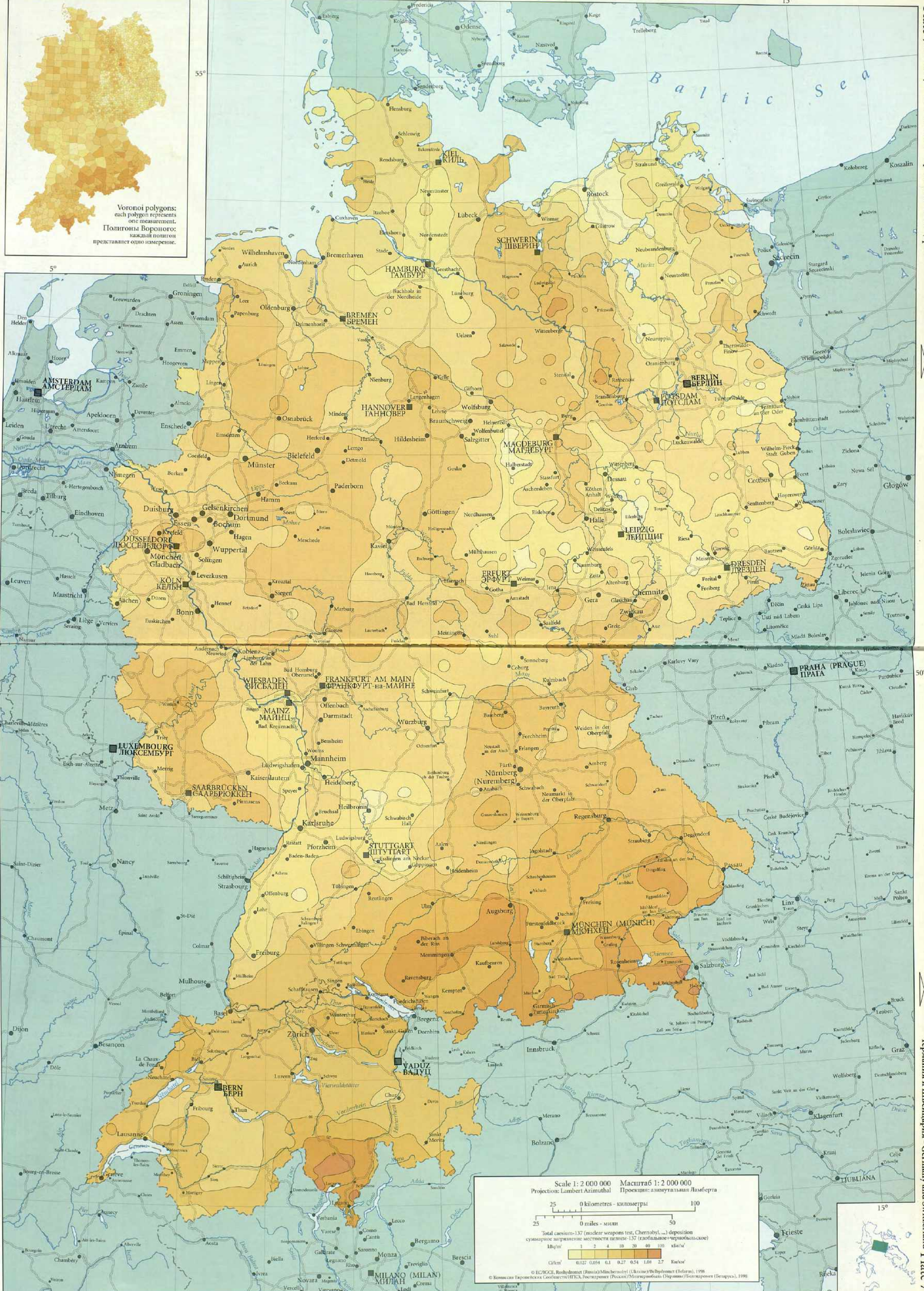
Voronoi polygons:
each polygon represents
one measurement.
Полигоны Вороного:
каждый полигон
представляет одно измерение.



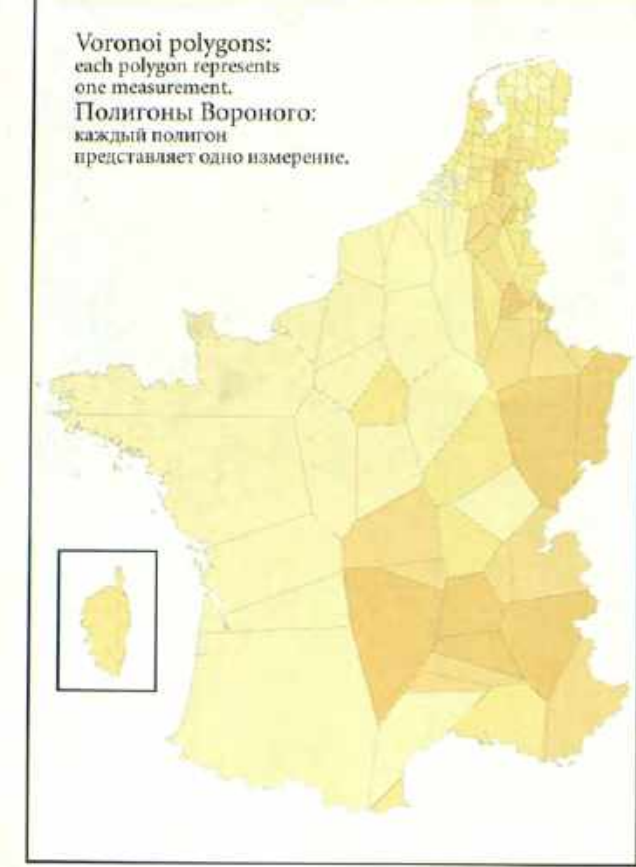


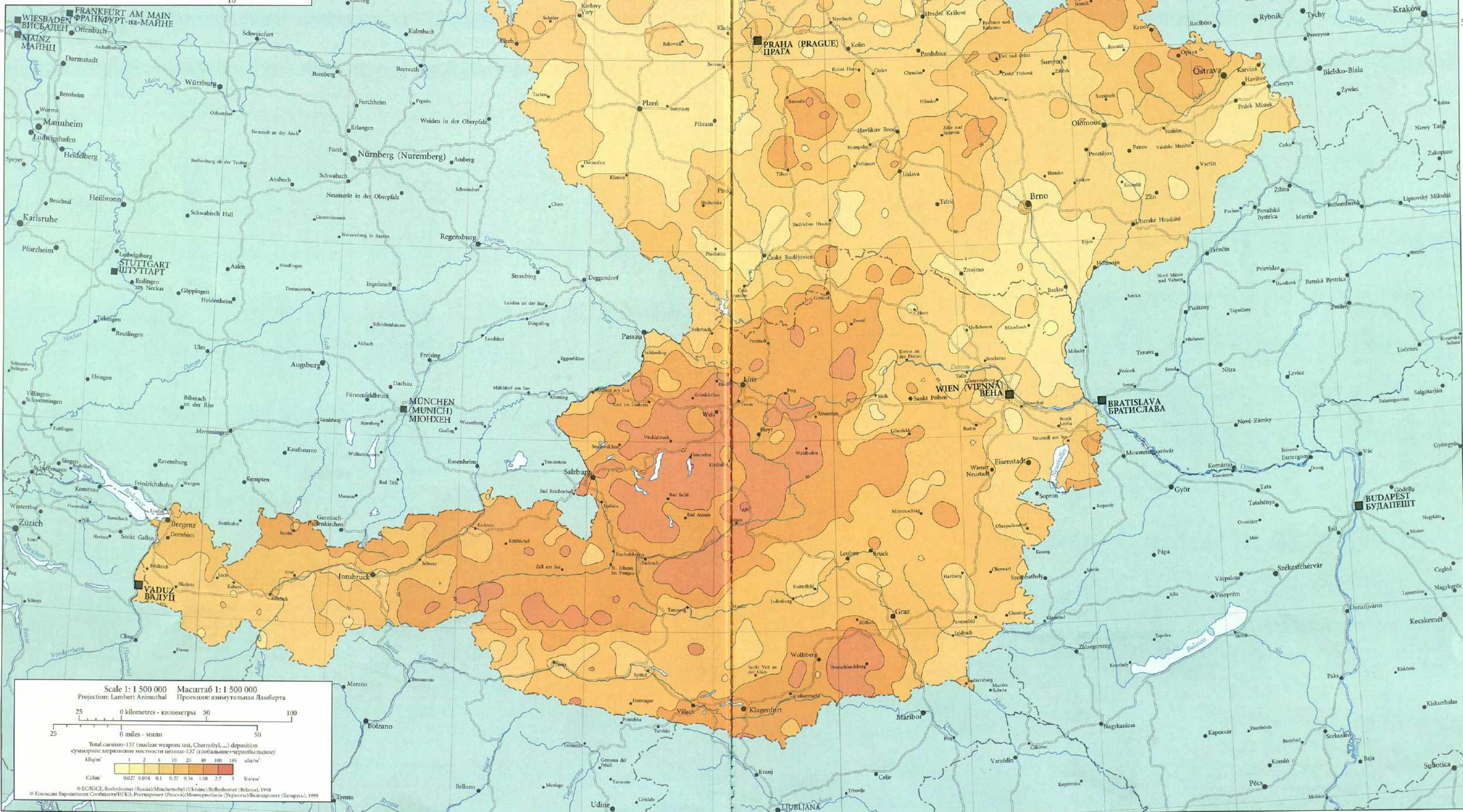
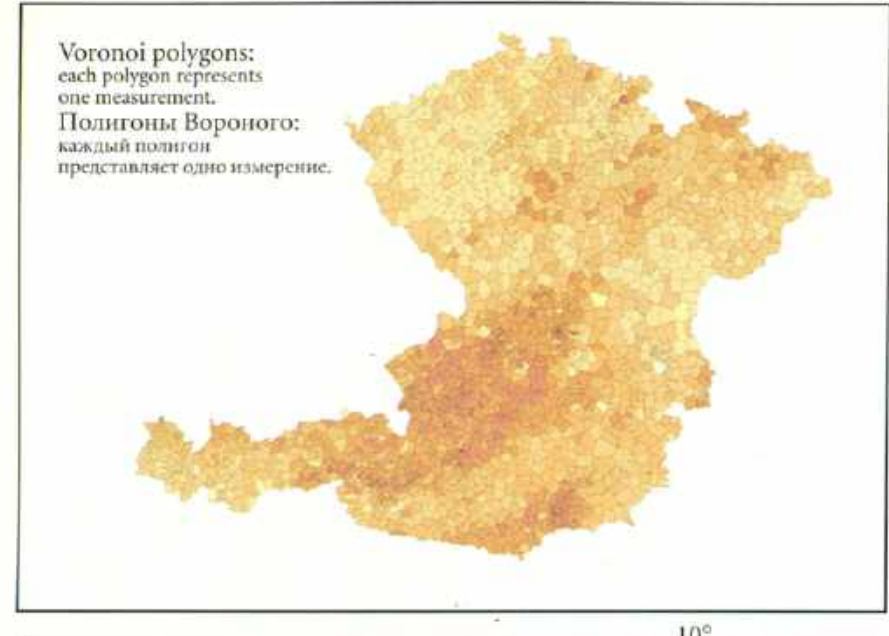


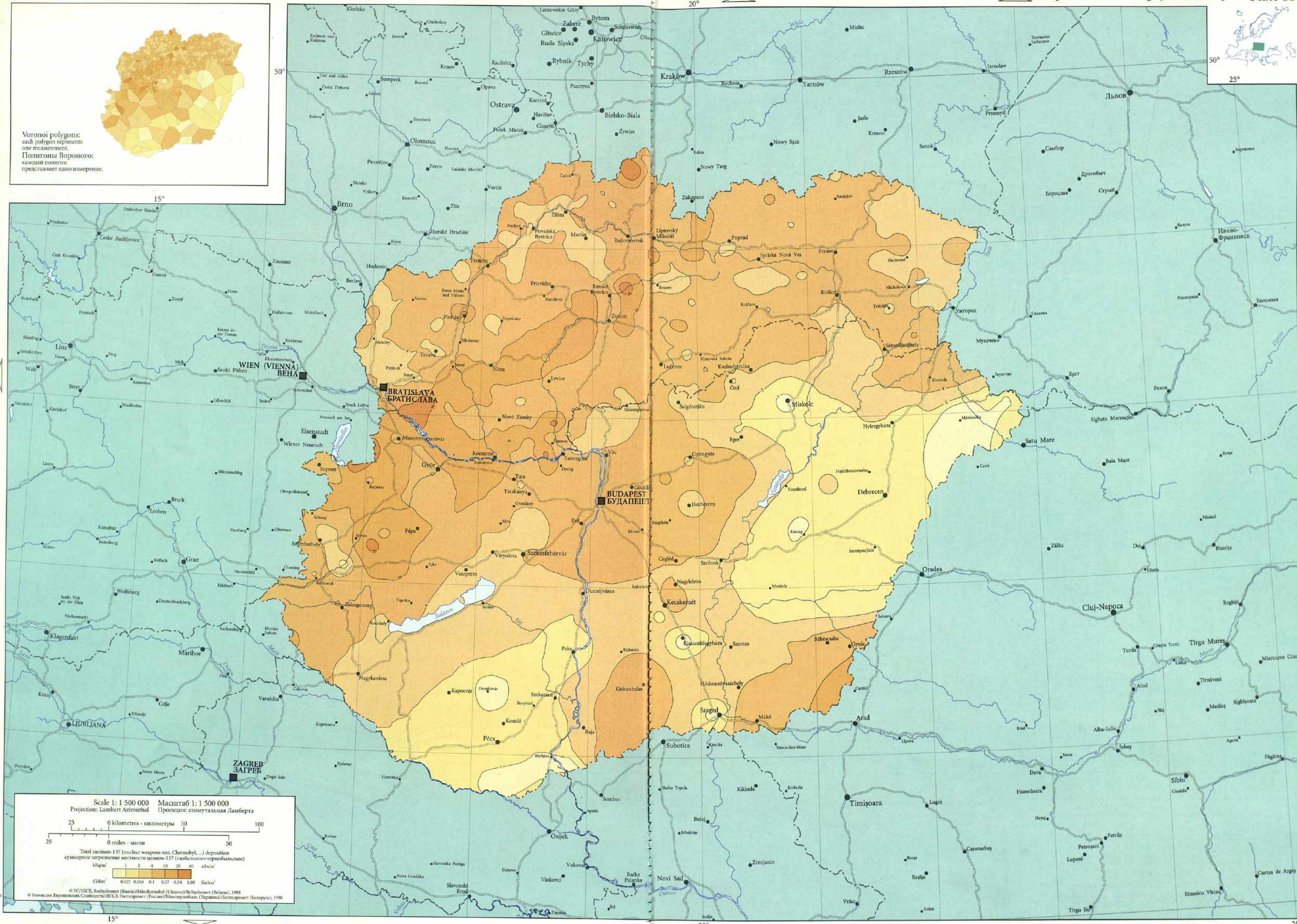






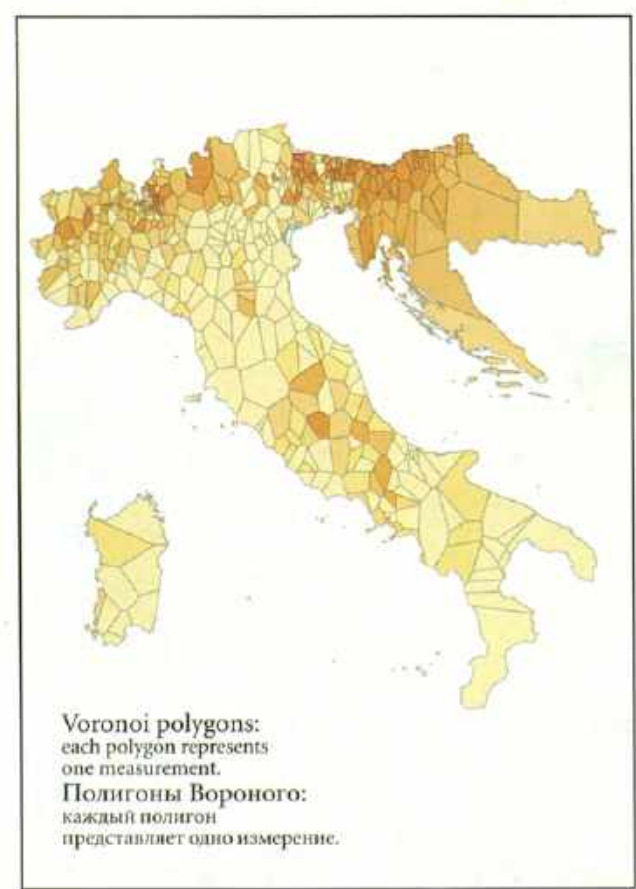
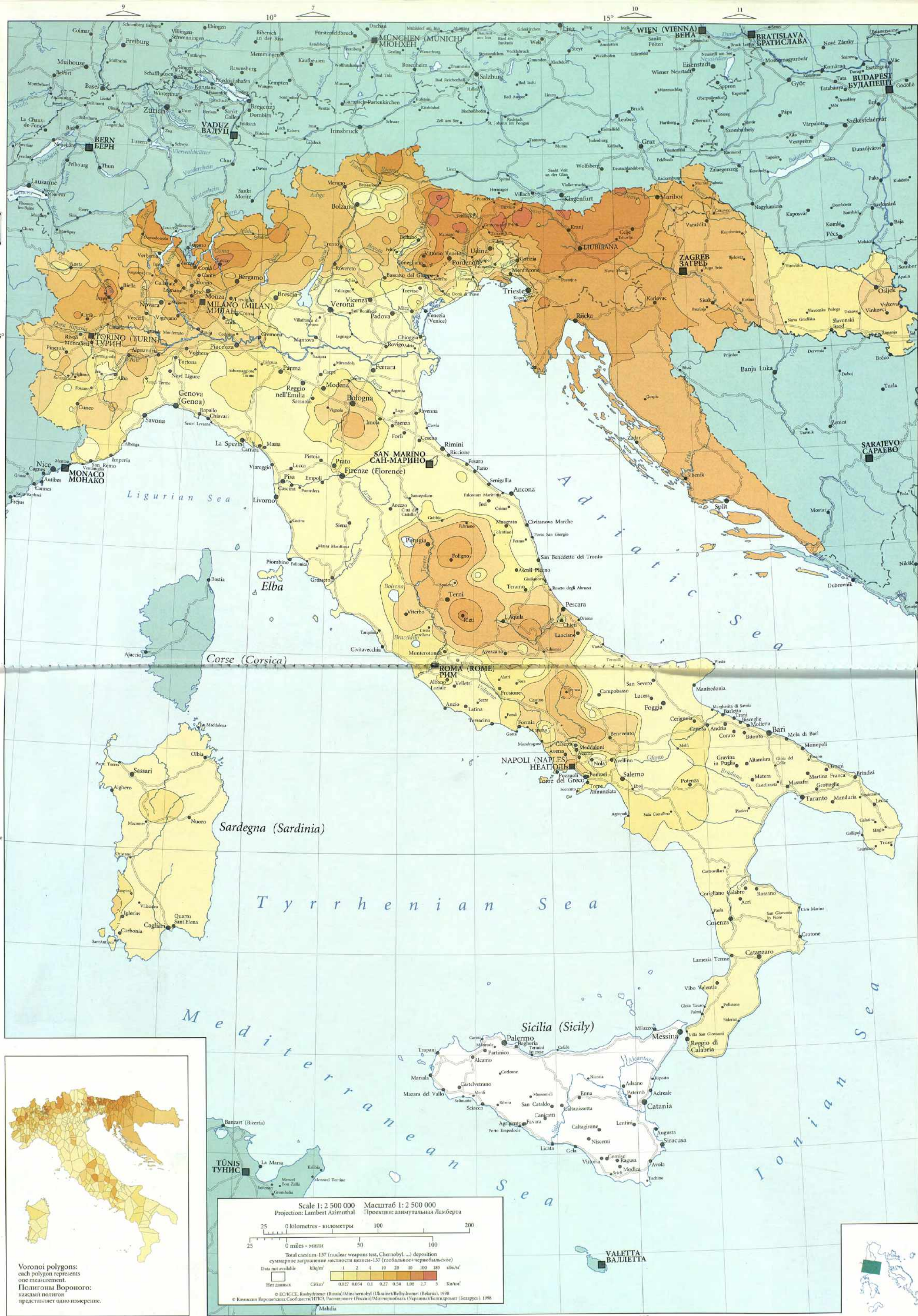






Voronoi polygons:
each polygon represents
one measurement.
Полигоны Вороного:
каждый полигон
представляет одно измерение.





Scale 1:2 500 000 Масштаб 1:2 500 000
 Projection: Lambert Azimuthal Проекция: азимутальная Ламберта

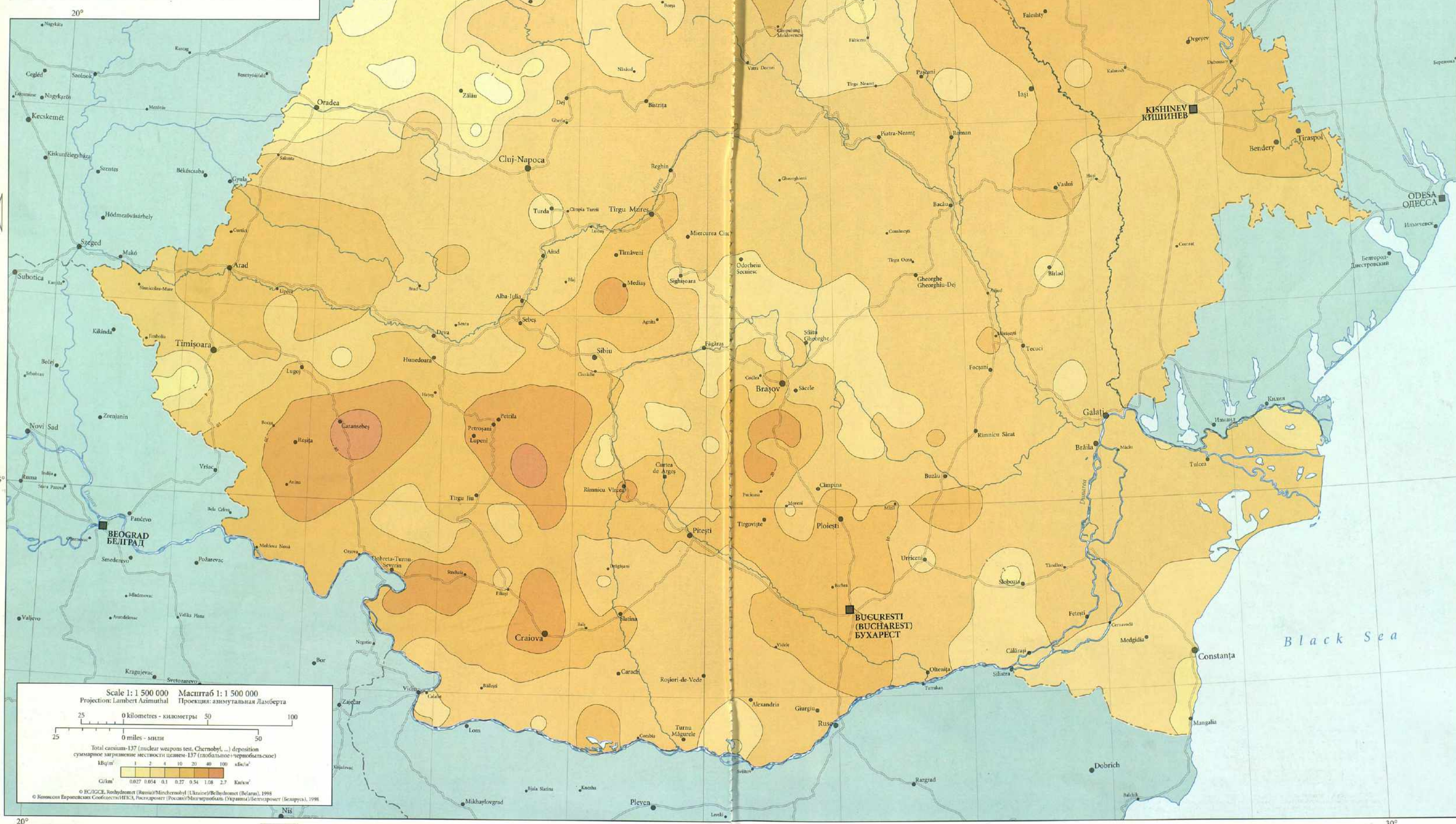
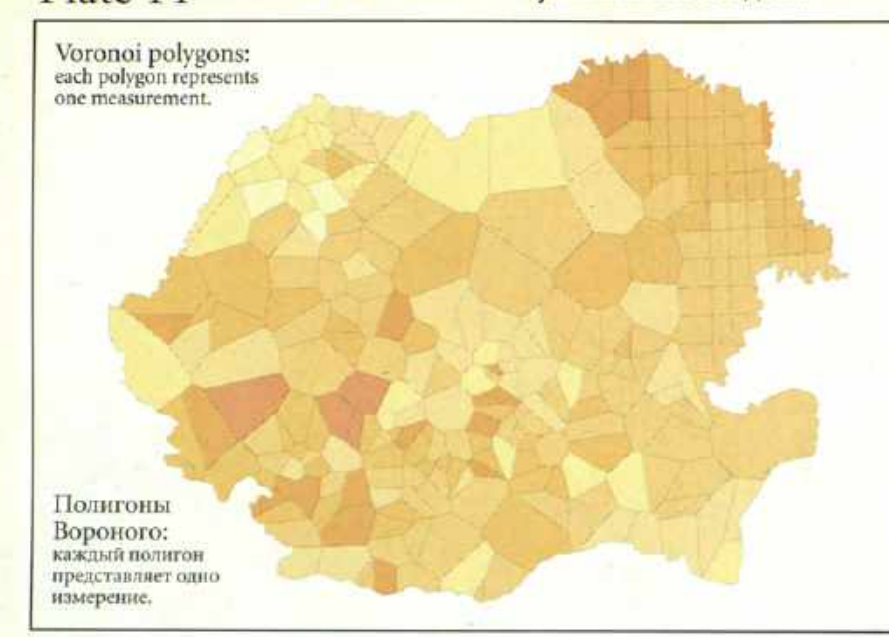
0 kilometres - километры 0 miles - мили

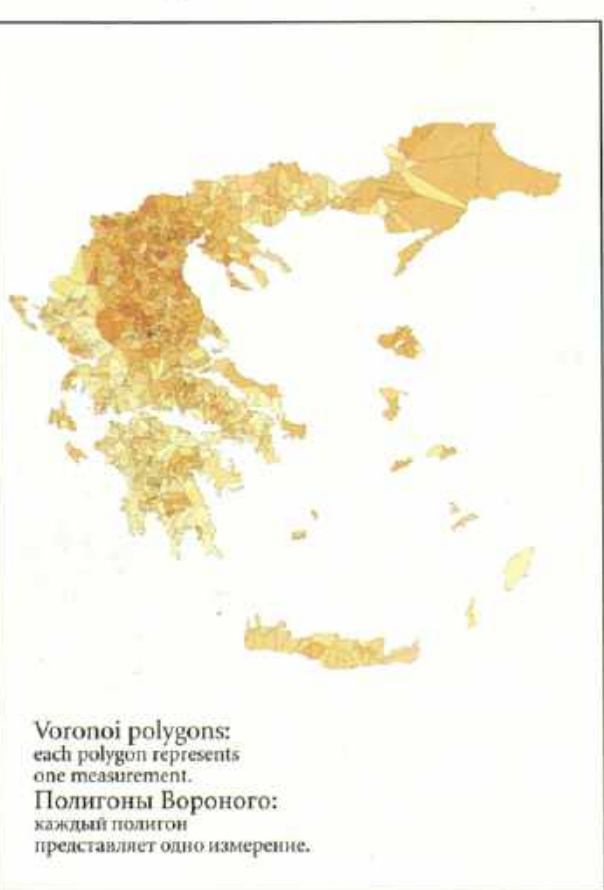
Total cesium-137 (nuclear weapons test, Chernobyl, ...) deposition
 суммарное загрязнение местности цезием-137 (глобальное-чернобыльское)

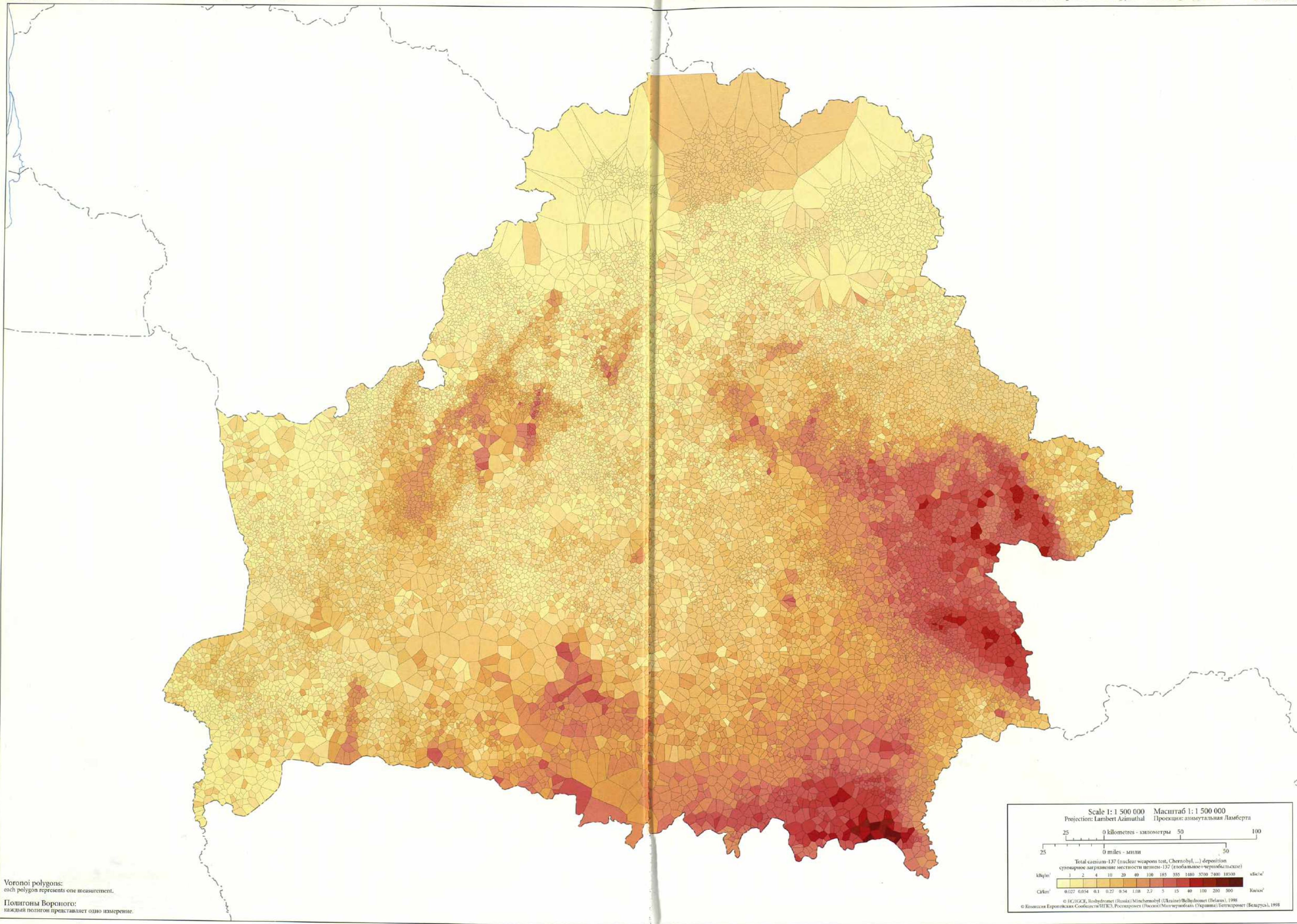
Data not available (Нет данных)

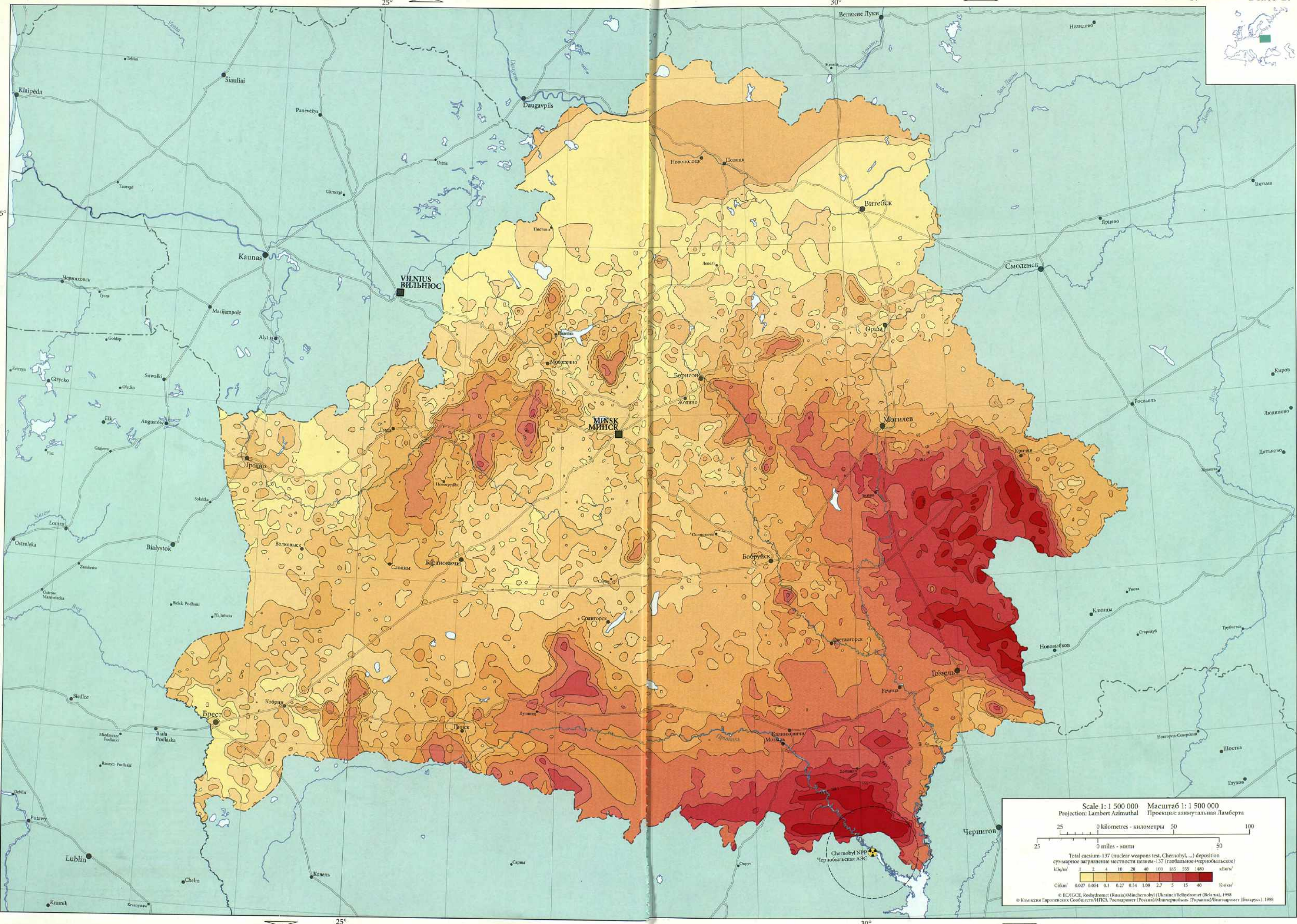
0.027 0.054 0.1 0.27 0.54 1.09 2.7 5 Kq/m²

© ЕОУСЕ, Водуходмет (Россия)/Минчернобыль (Украина)/Велуходмет (Беларусь), 1998
 © Комиссия Европейского Сообщества/ИГЭС, Росгидромет (Россия)/Минчернобыль (Украина)/Белгидромет (Беларусь), 1998









Scale 1: 1 500 000 Масштаб 1: 1 500 000
Projection: Lambert Azimuthal Проекция: азимутальная Ламберта

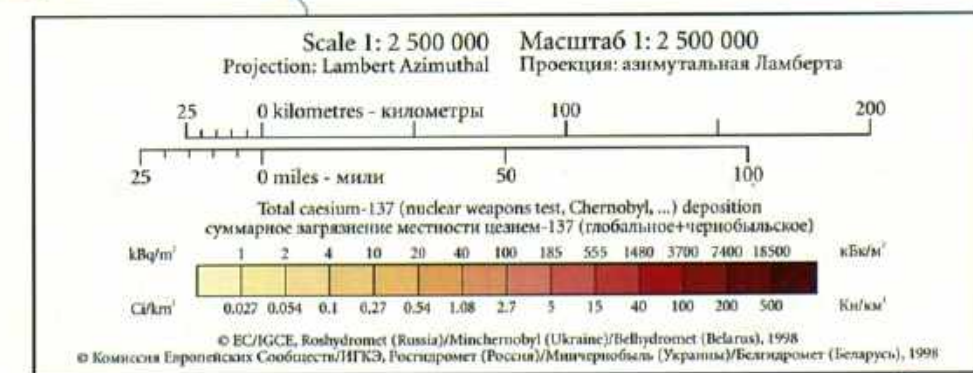
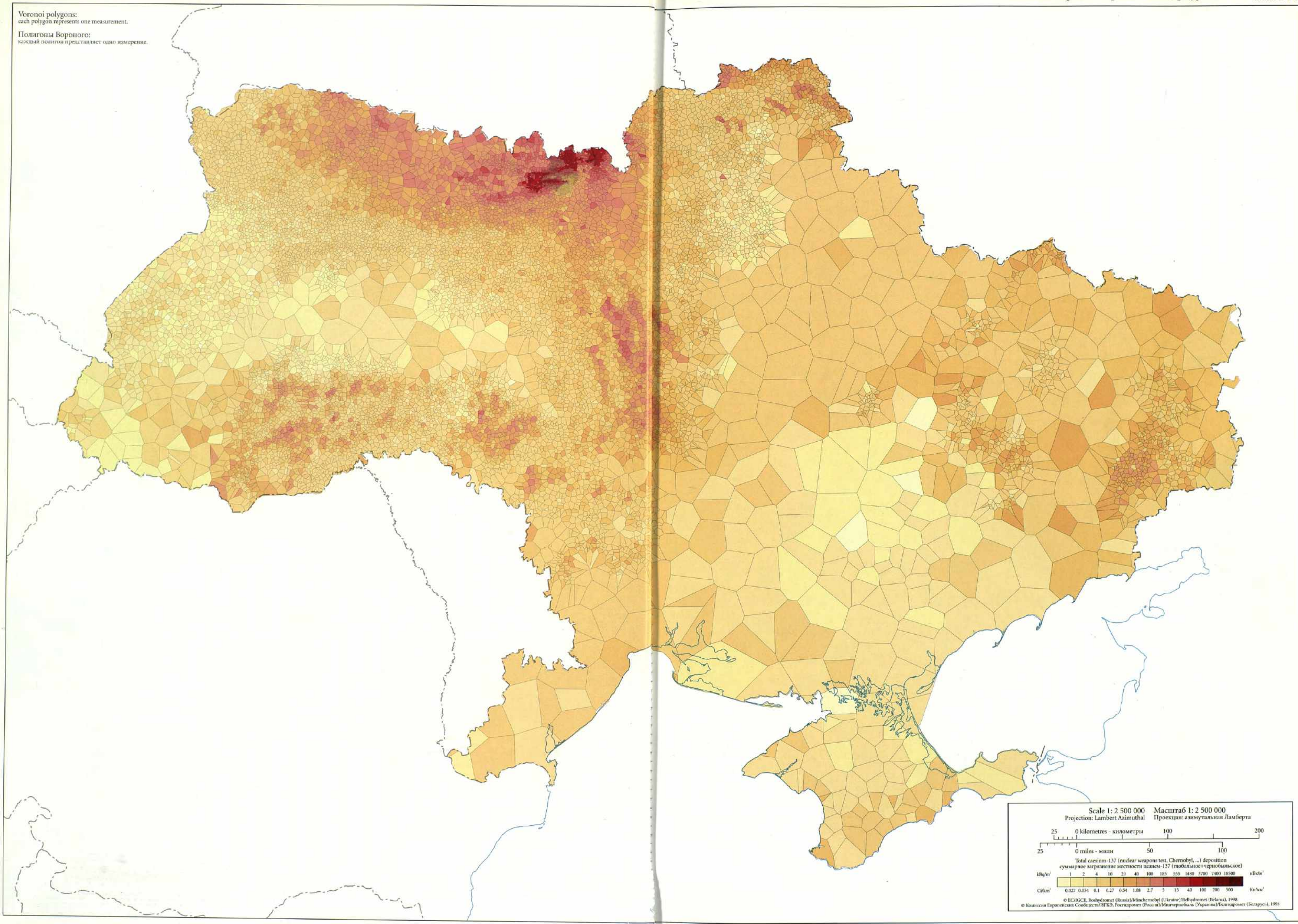
0 kilometres - километры 0 miles - мили

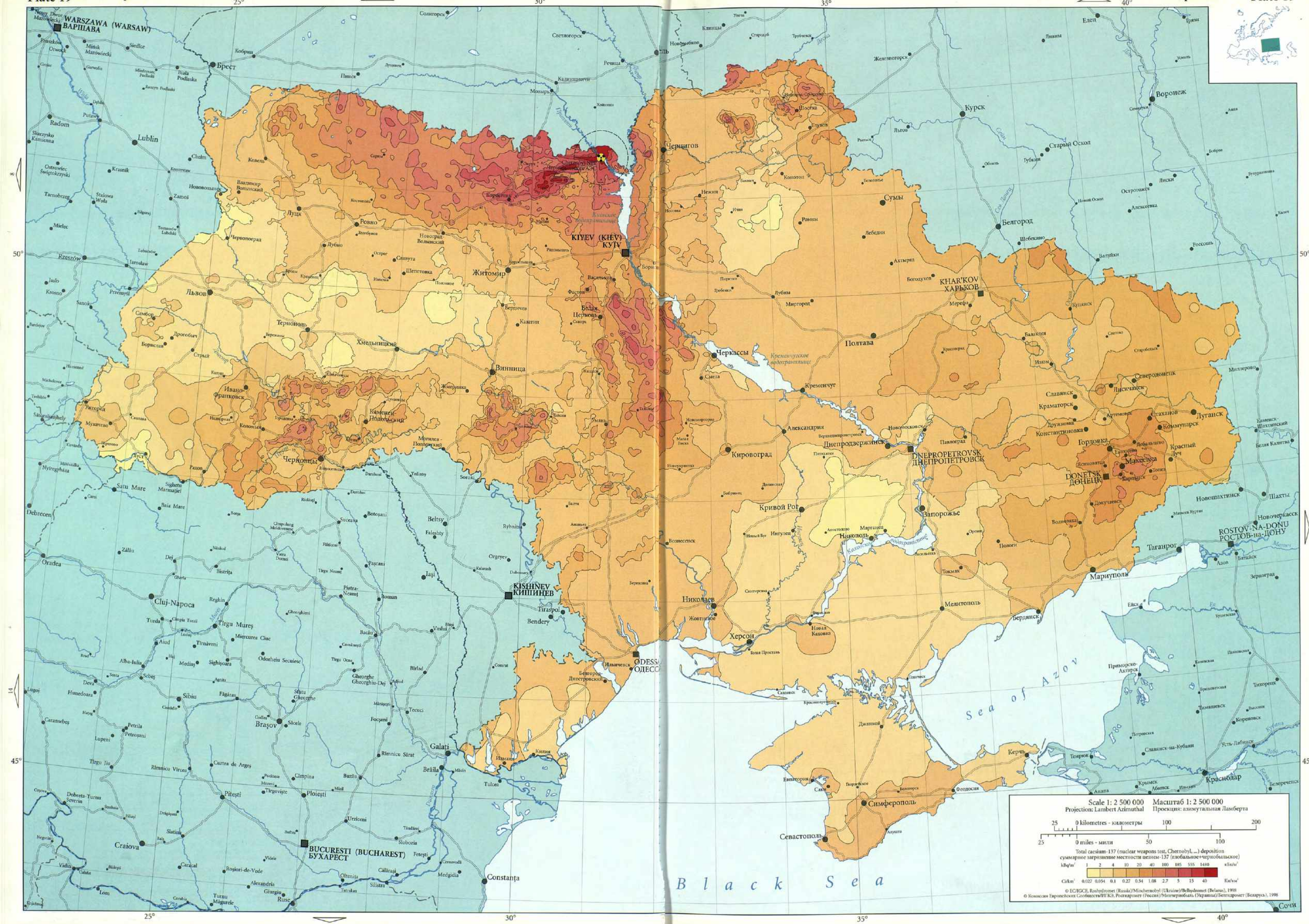
Total caesium-137 (nuclear weapons test, Chernobyl, ...) deposition
суммарное загрязнение местности цезием-137 (ядерные испытания, Чернобыльское)

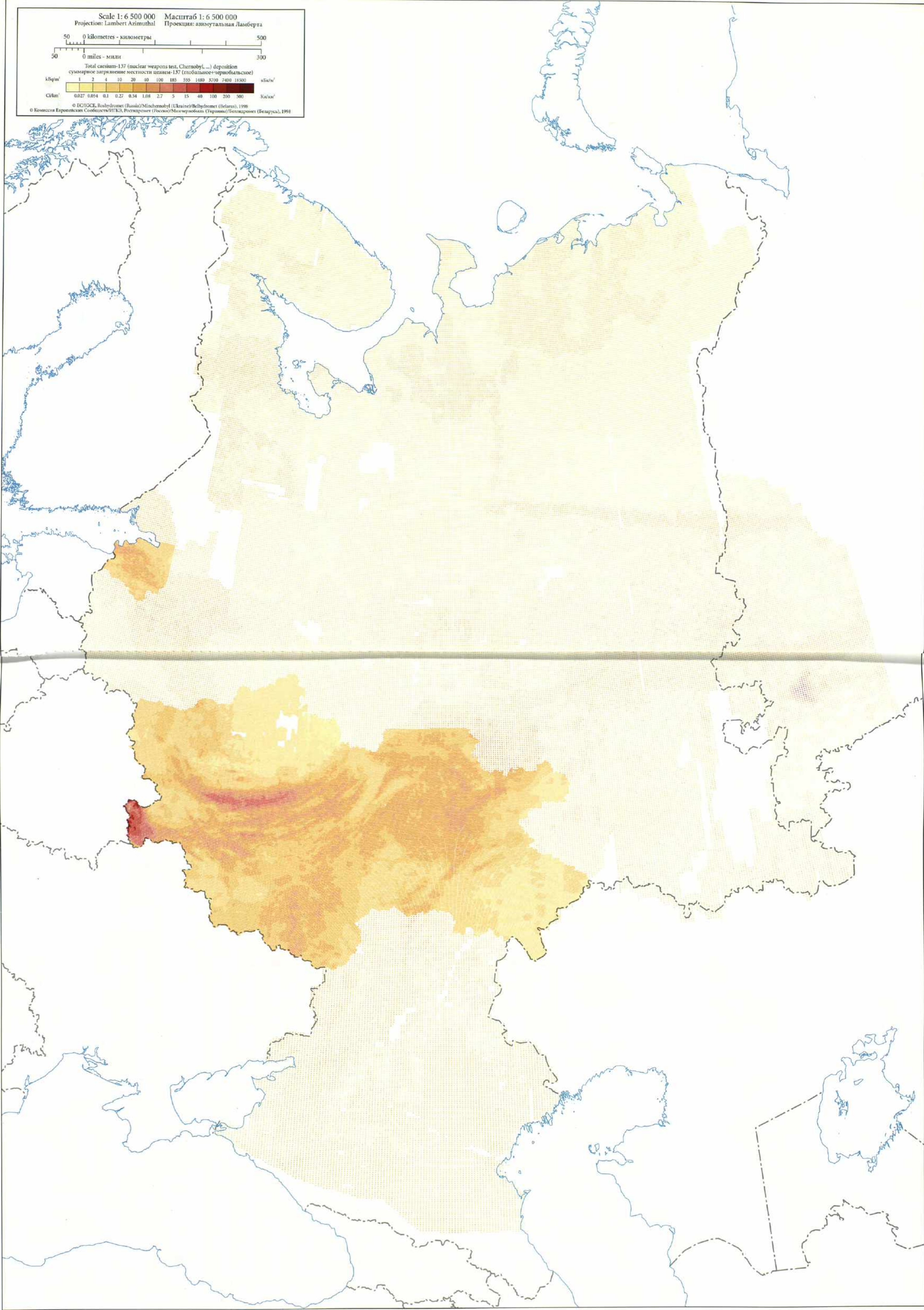
kBq/m ²	1	2	4	10	20	40	100	185	355	1480
Ci/km ²	0.027	0.054	0.1	0.27	0.54	1.08	2.7	5	15	40

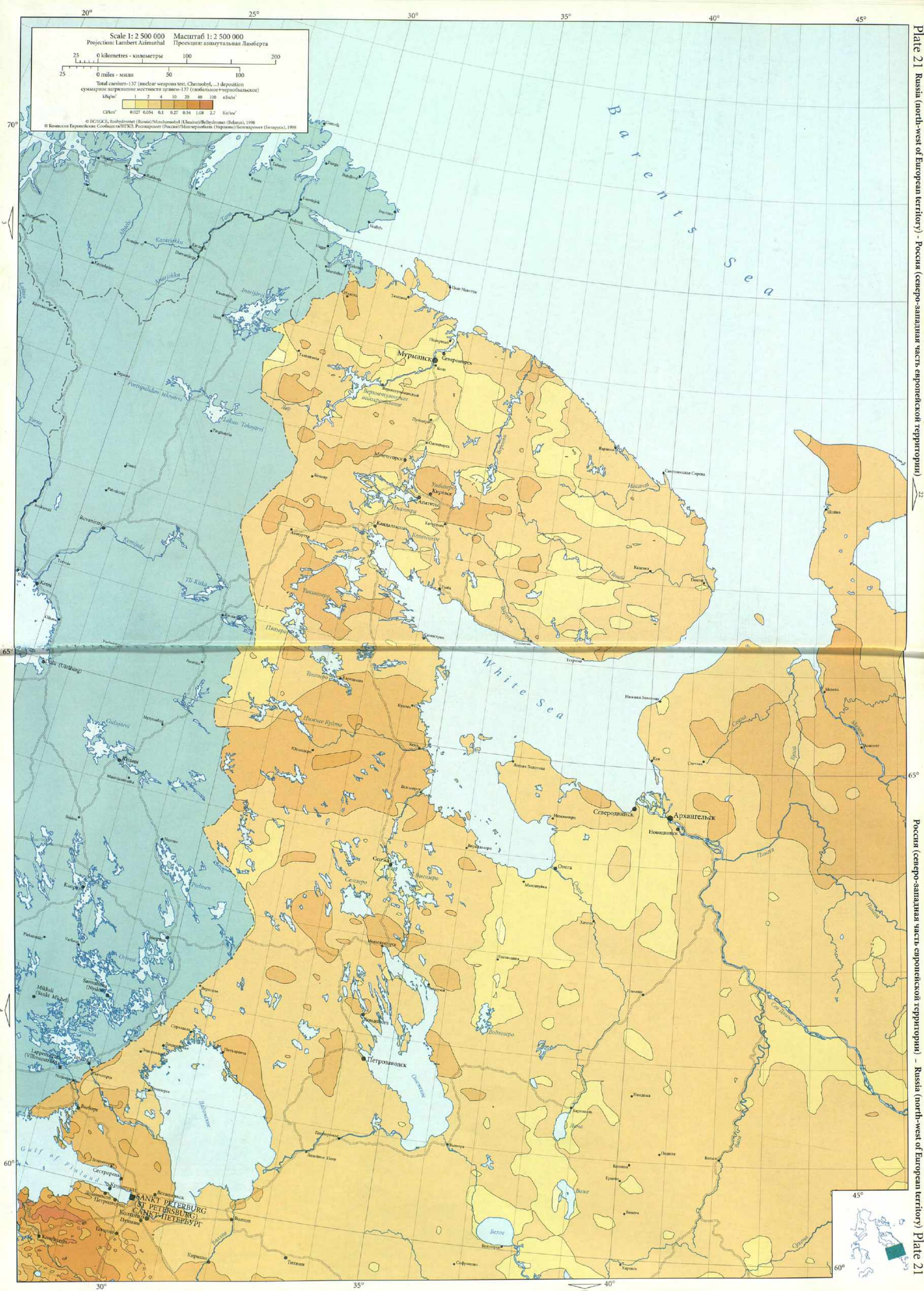
© ЕС/ГЭС, Roshydromet (Russia)/Minchernobyl (Ukraine)/Belhydromet (Belarus), 1998
© Комиссия Европейского Сообщества/ИПС, Росгидромет (Россия)/Минчернобыль (Украина)/Белгидромет (Беларусь), 1998

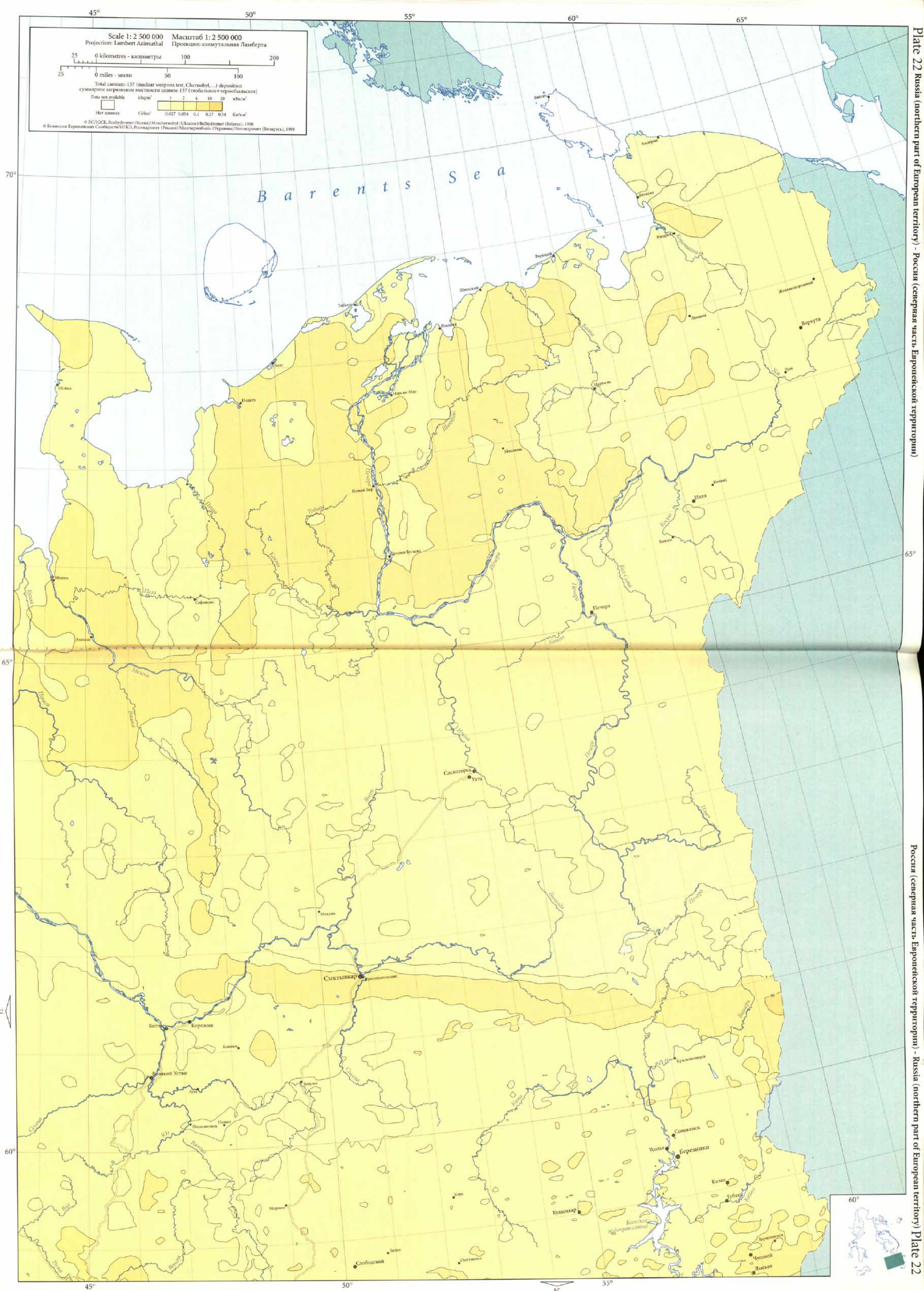
Voronoi polygons:
each polygon represents one measurement.
Полігоны Вороного:
каждый полигон представляет одно измерение.











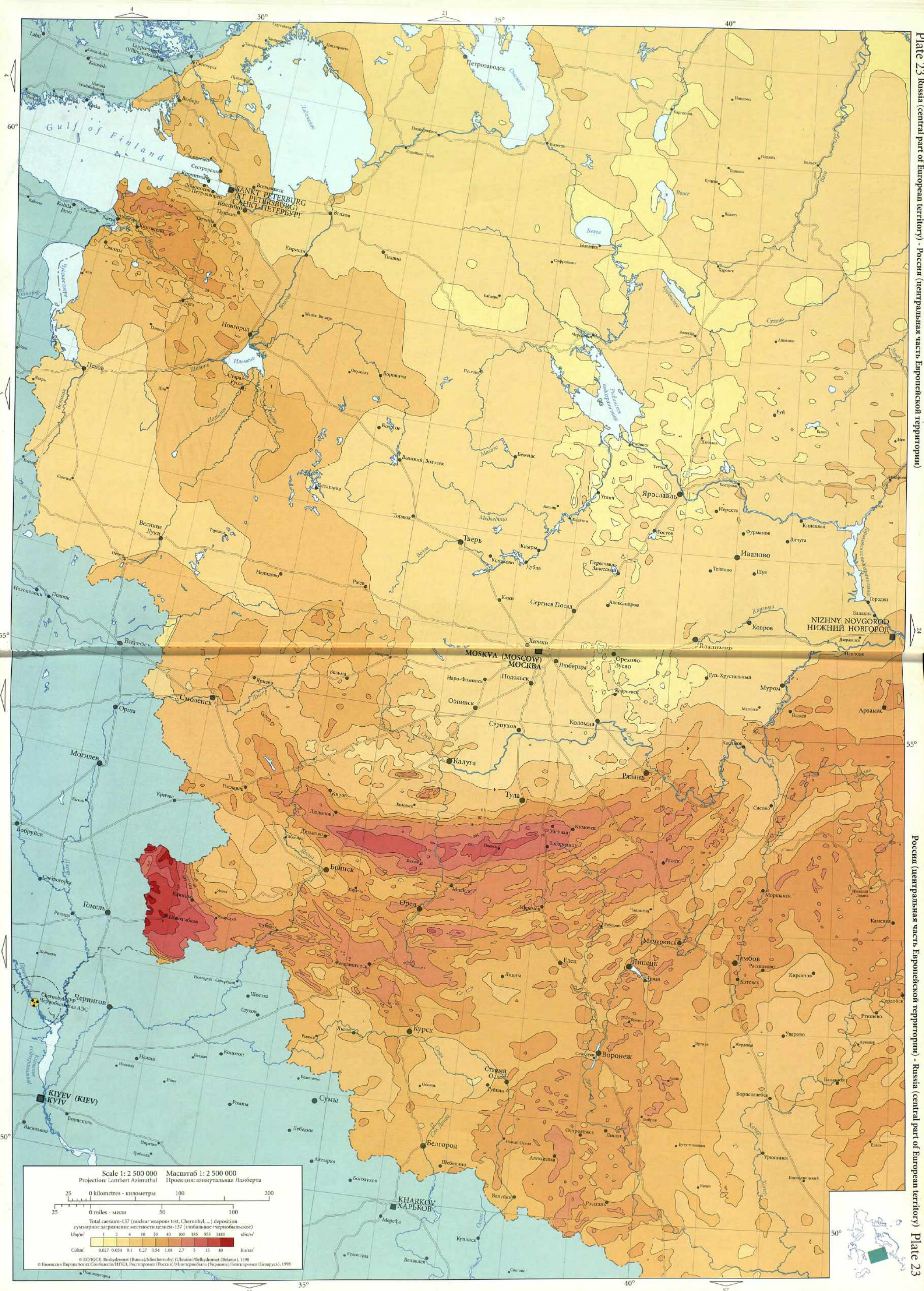


Plate 23 Russia (central part of European territory) - Россия (центральная часть Европейской территории)

Россия (центральная часть Европейской территории) - Russia (central part of European territory) Plate 23

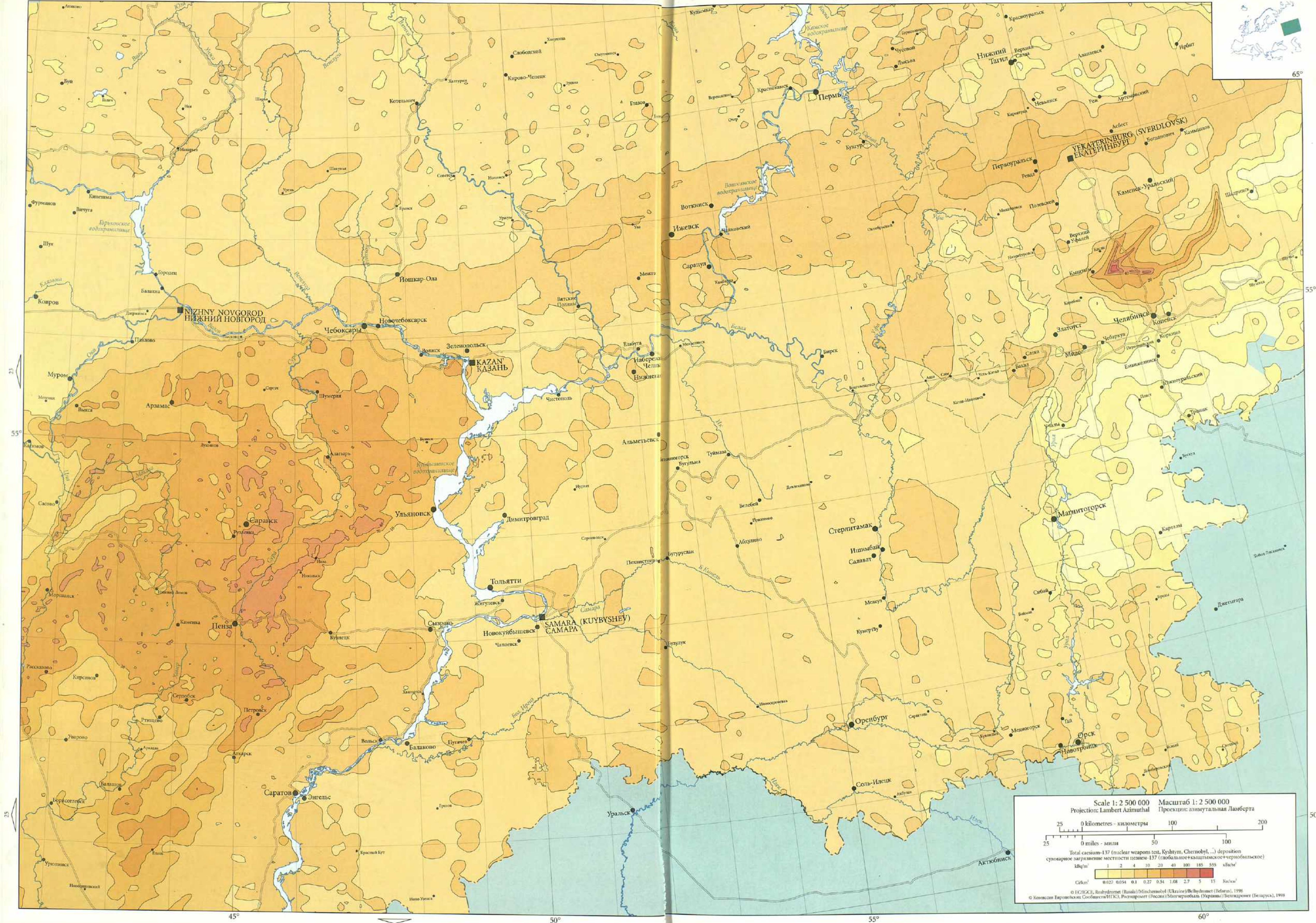
Scale 1: 2 500 000 Масштаб 1: 2 500 000
Projection: Lambert Azimuthal Проекция: азимутальная Ламберта

0 kilometres - километры 0 miles - мили

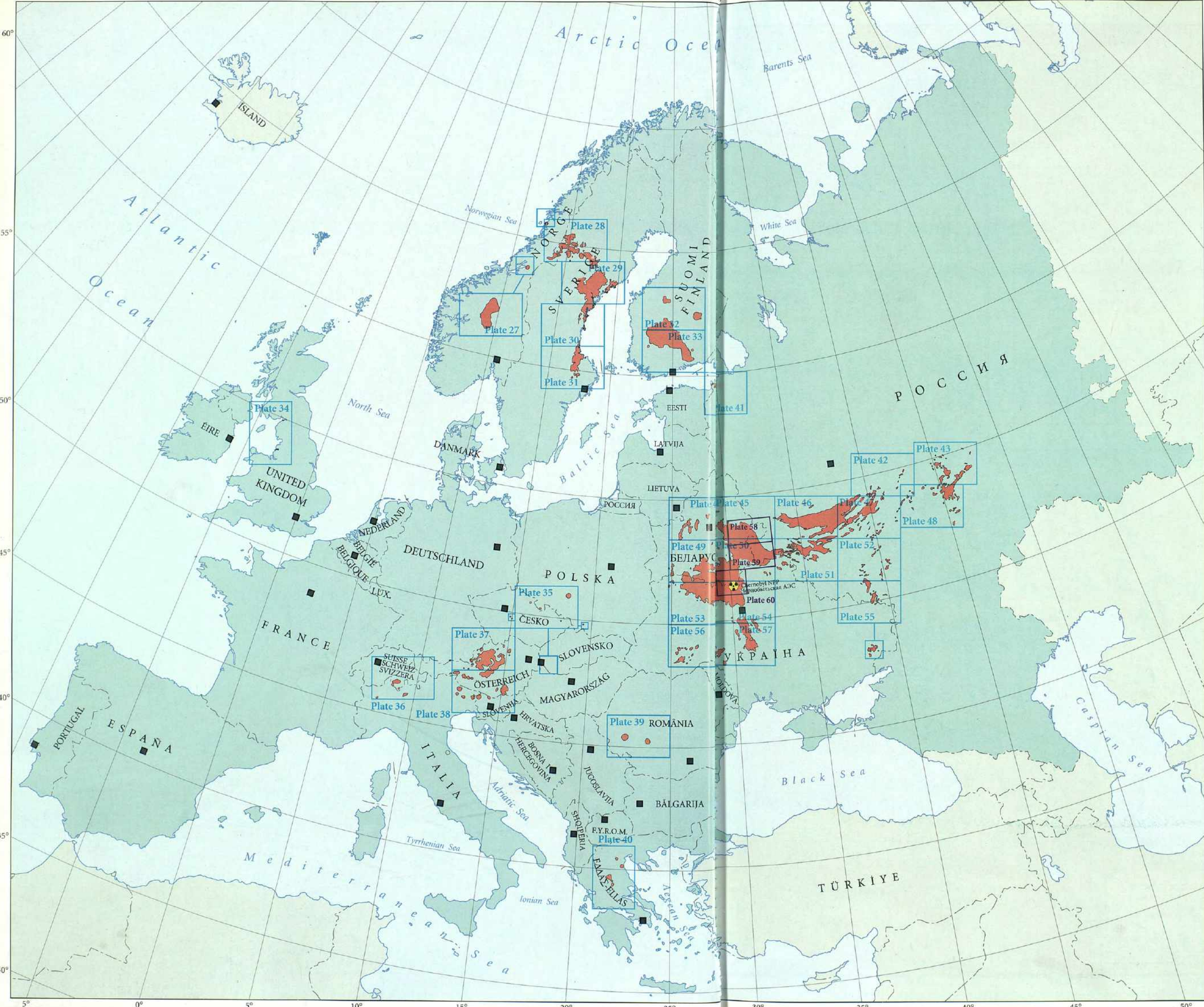
Total caesium-137 (nuclear weapons test, Chernobyl, ...) deposition
суммарное загрязнение местности цезием-137 (глобальное + черновильское)

kBq/m²	0.027	0.054	0.1	0.27	0.54	1.08	2.7	5	15	40
Color	Light yellow	Yellow	Orange	Red-orange	Red	Dark red	Dark red	Dark red	Dark red	Dark red

© ЕС/СЭСЕ, Росгидромет (Russia)/Мінгидромет (Ukraine)/Белгидромет (Belarus), 1998







Key to map scales
Масштаб карт

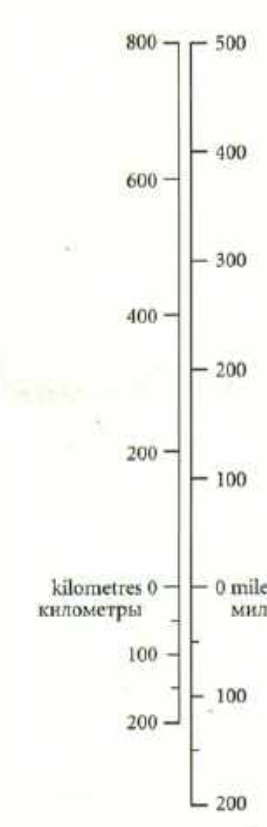
1: 500 000

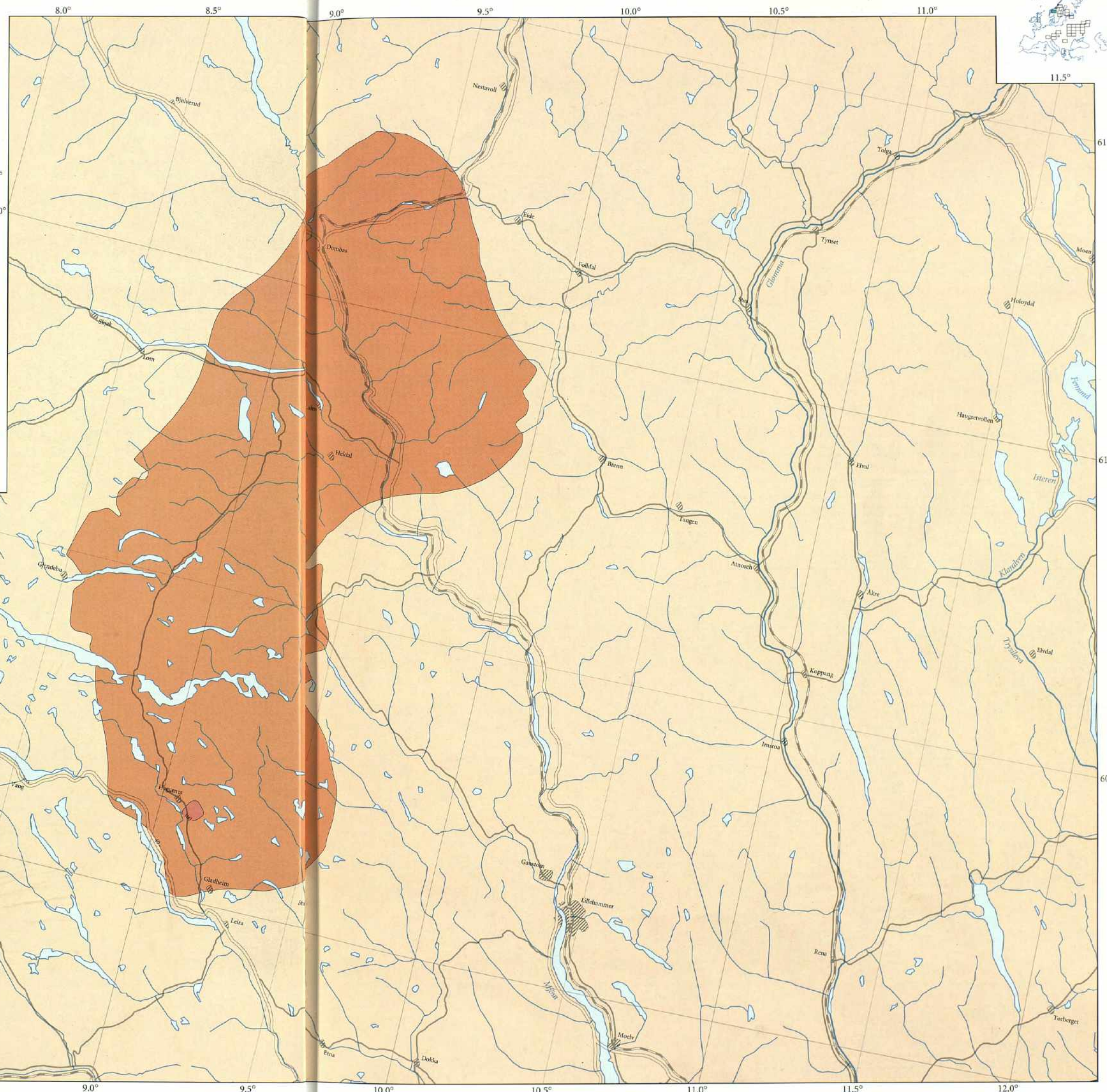
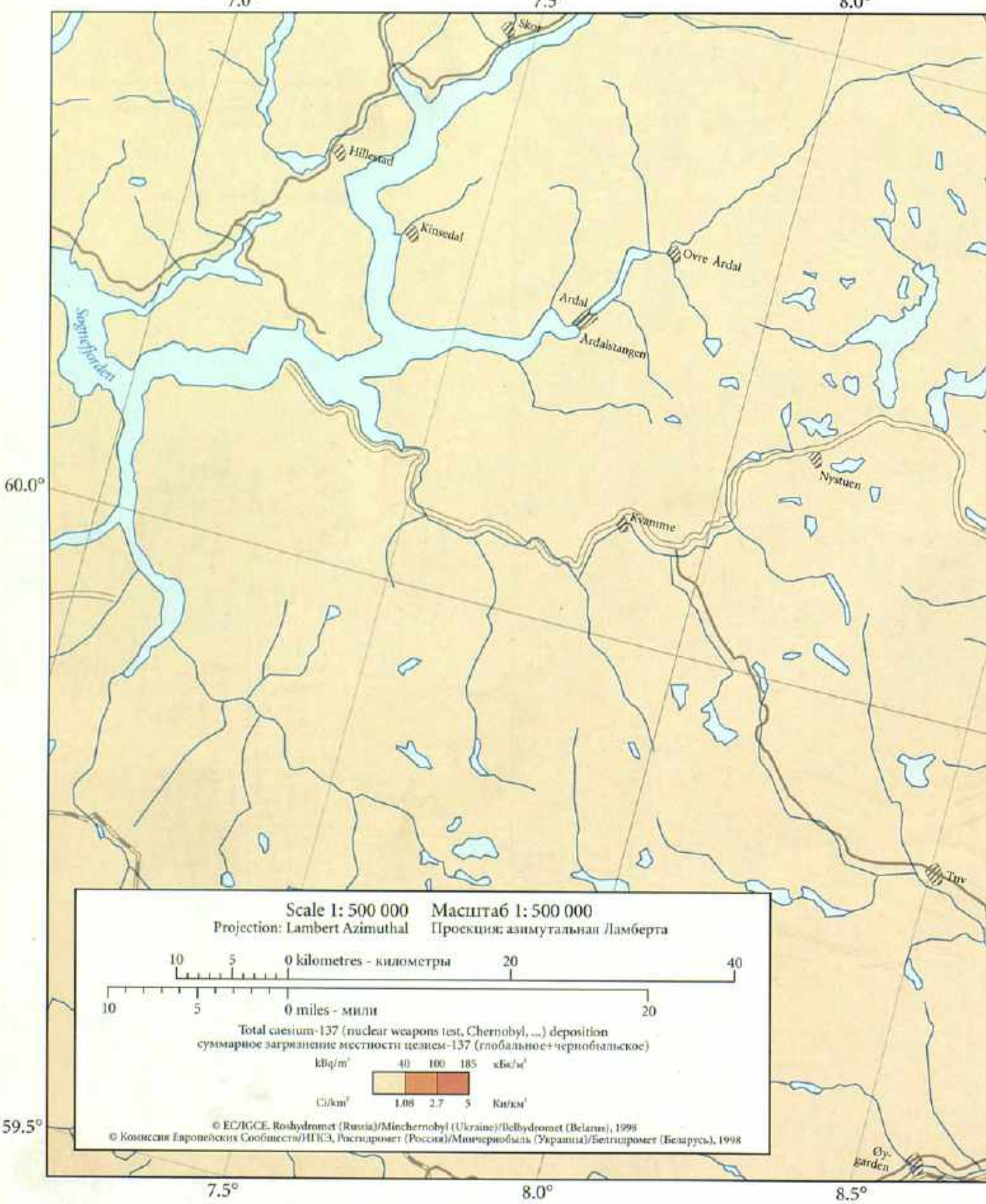
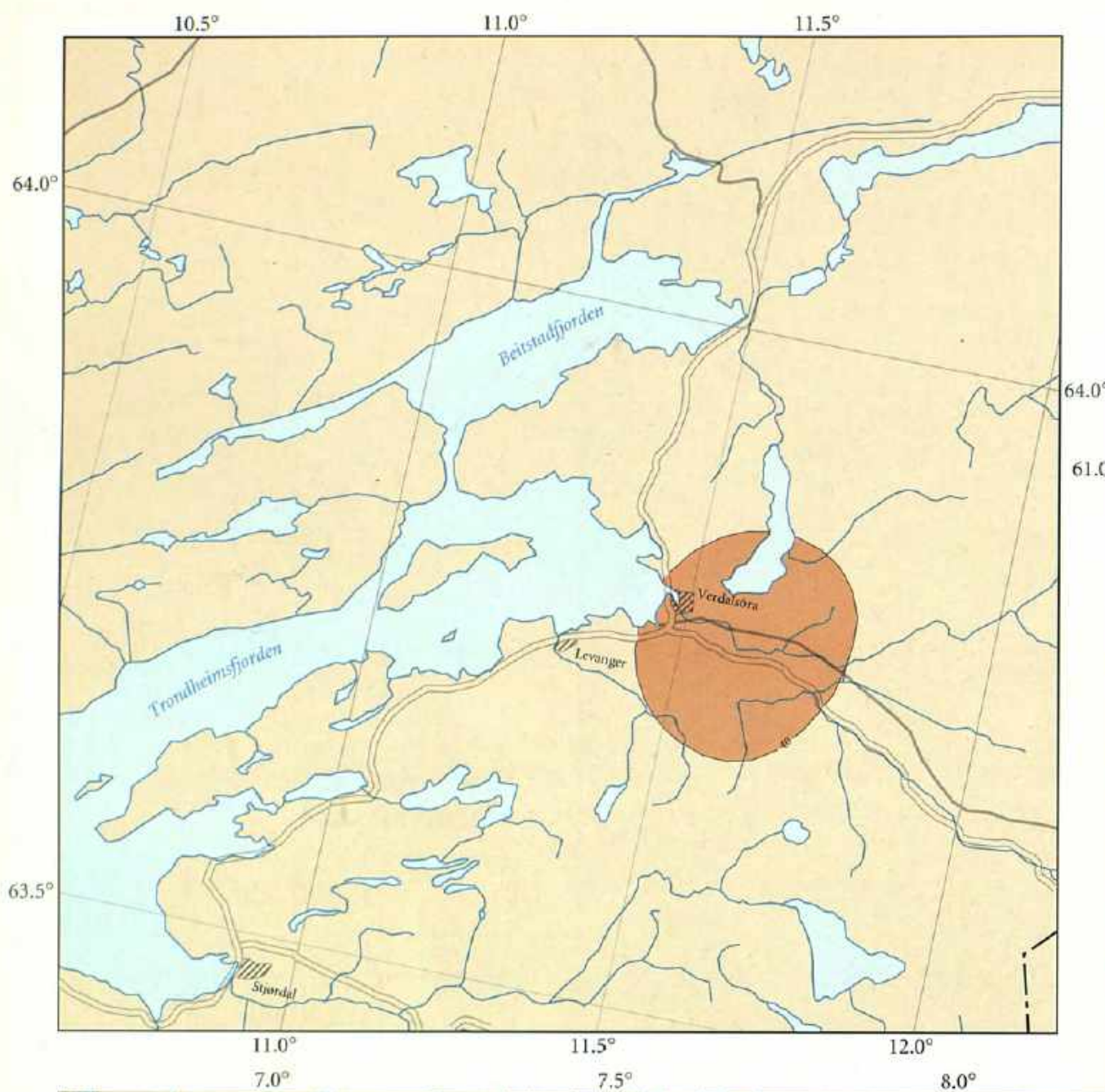
1: 250 000

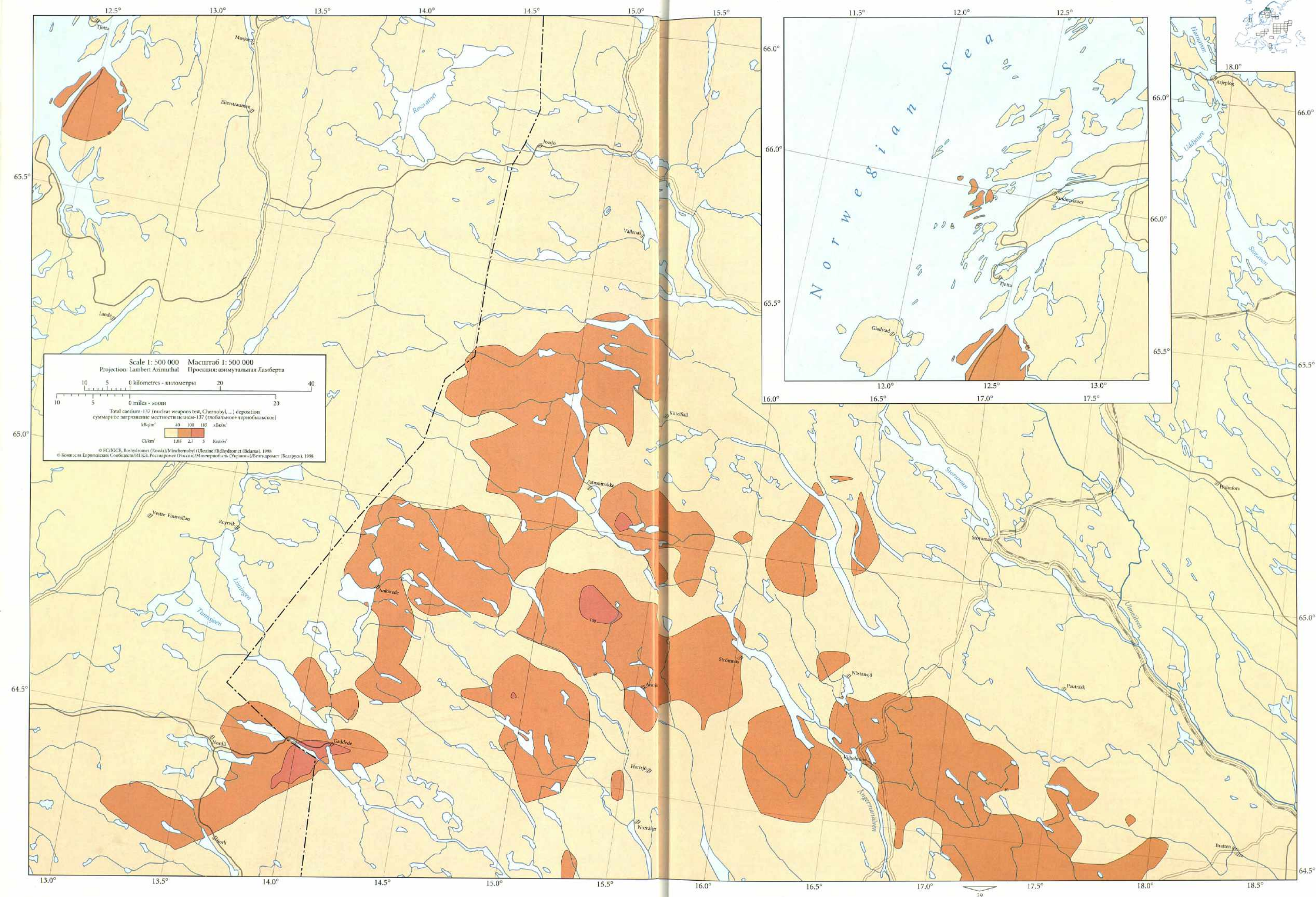
Areas of deposition greater than 40 kBq/m²
Зоны повышенного загрязнения с уровнями
более 1.08 Ки/км²

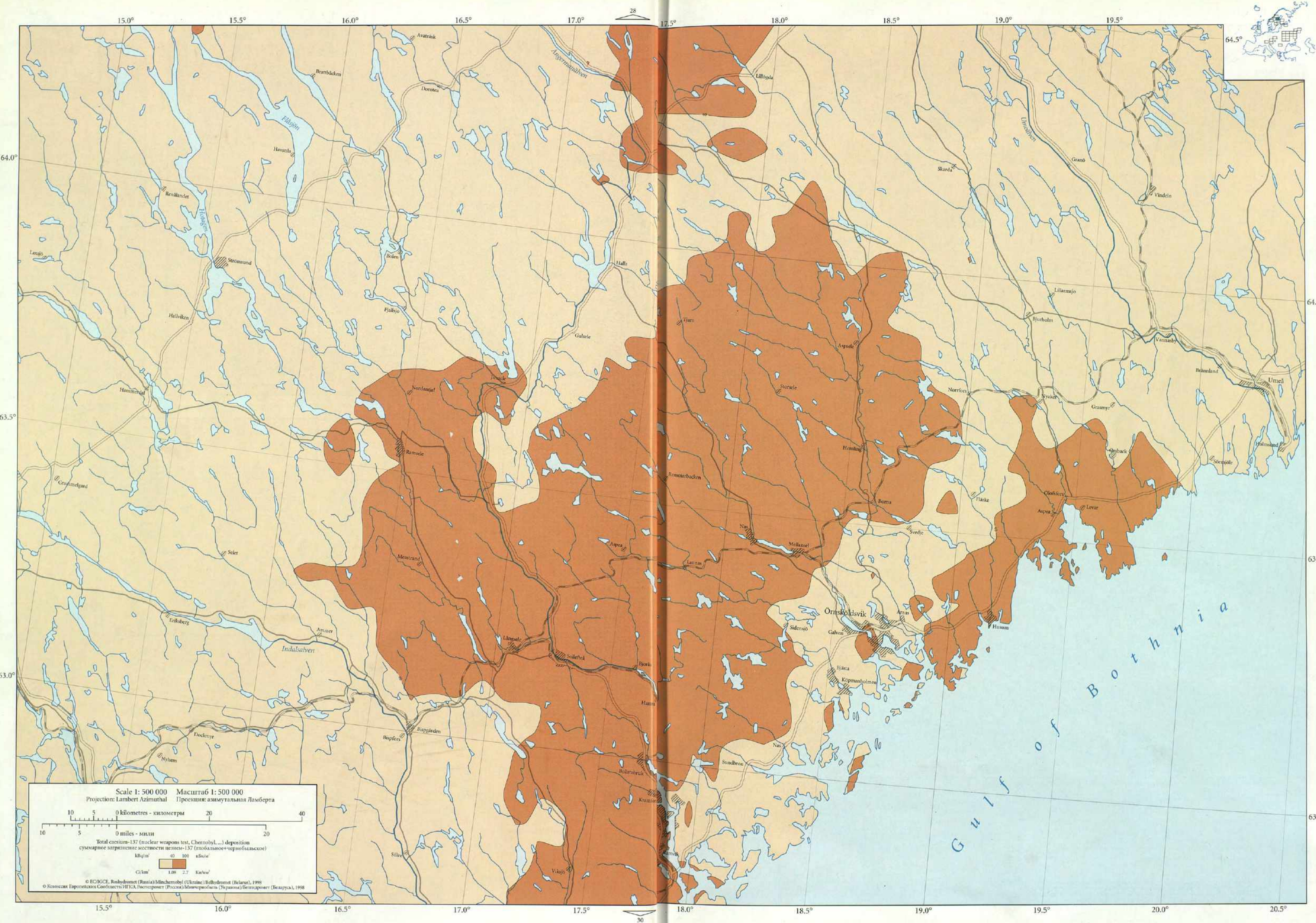
National capital ■ столицы государств

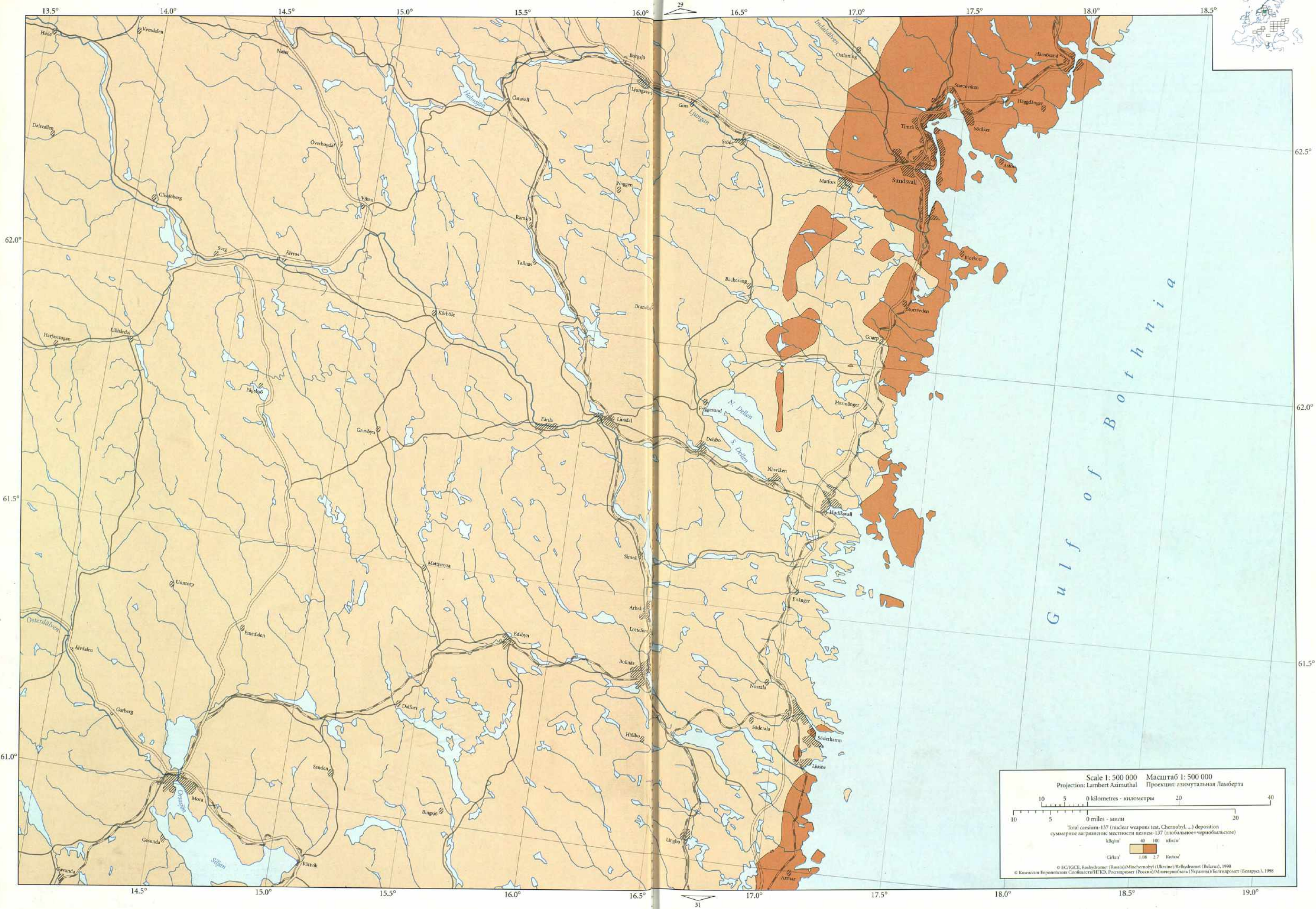
Scale 1: 11 250 000
Projection: Lambert Azimuthal
Масштаб 1: 11 250 000
Проекция: азимутальная Ламберта

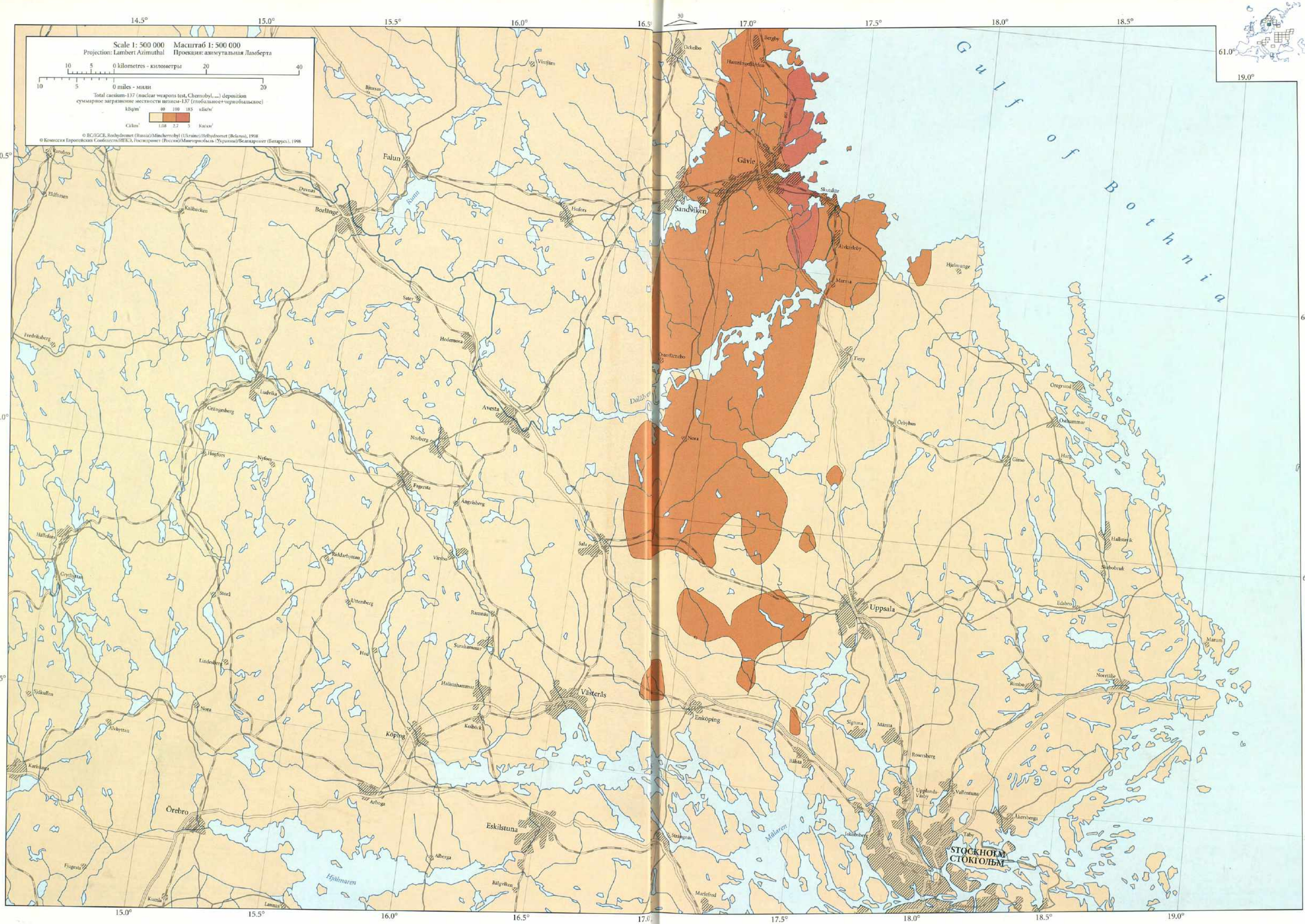


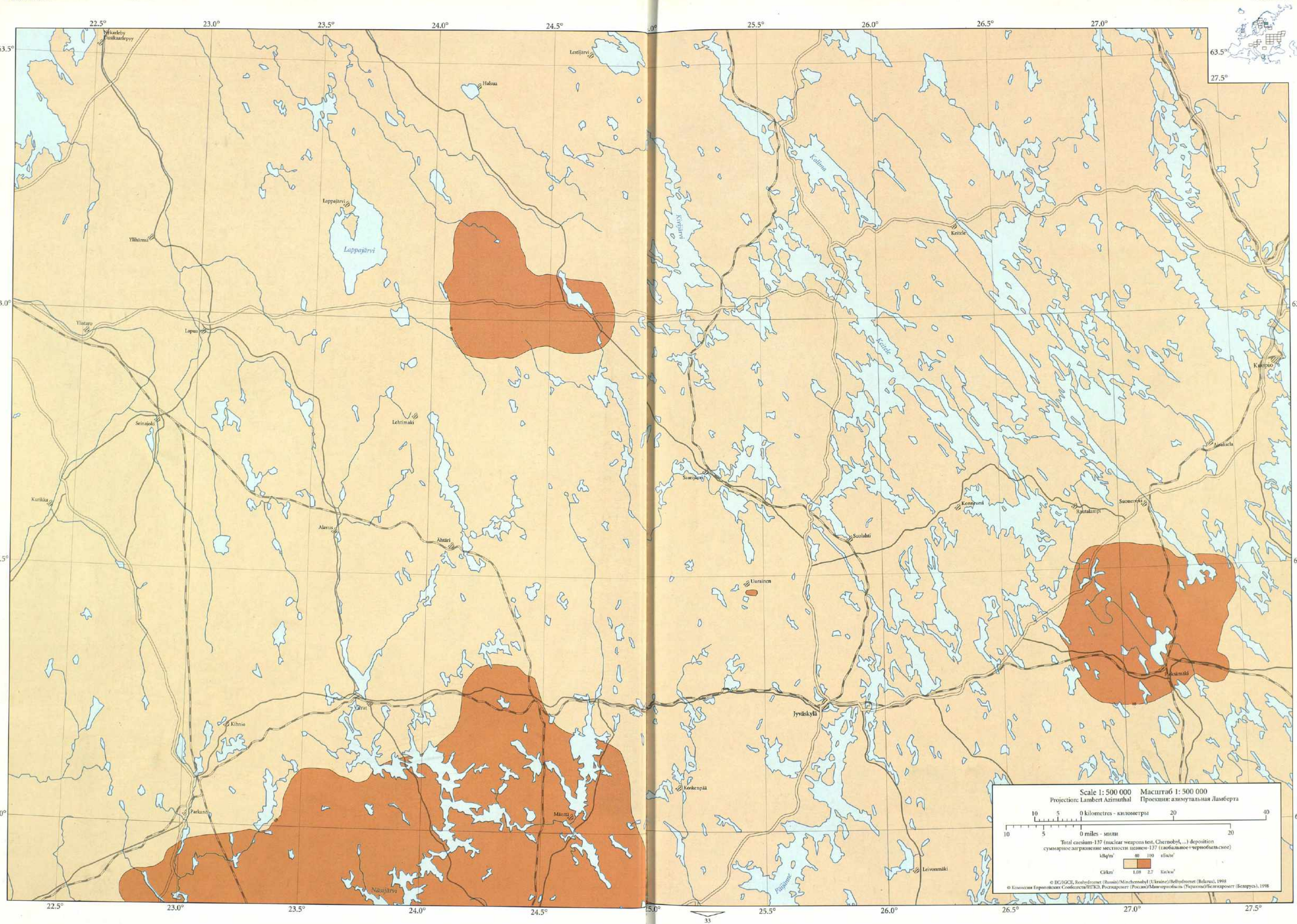


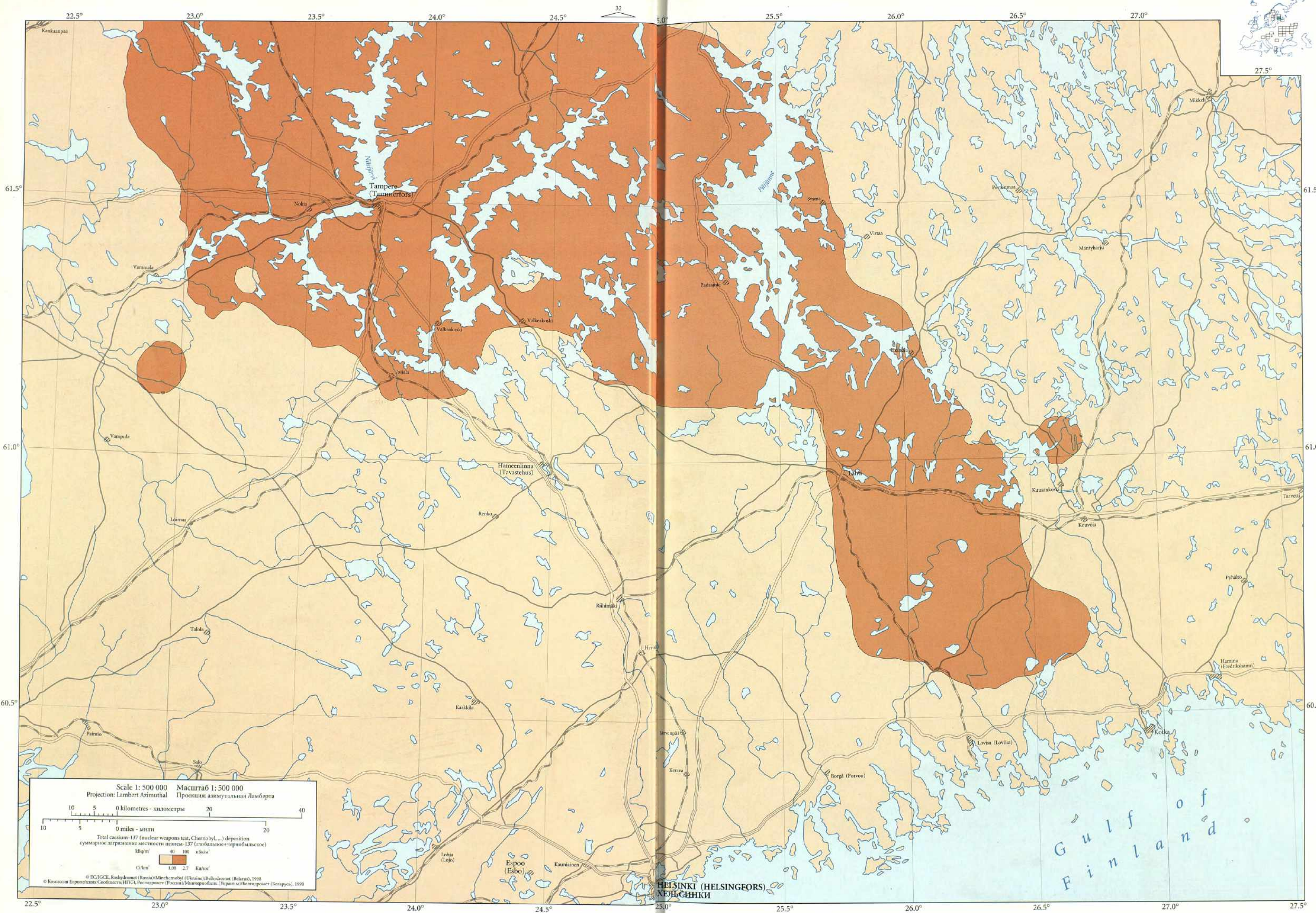






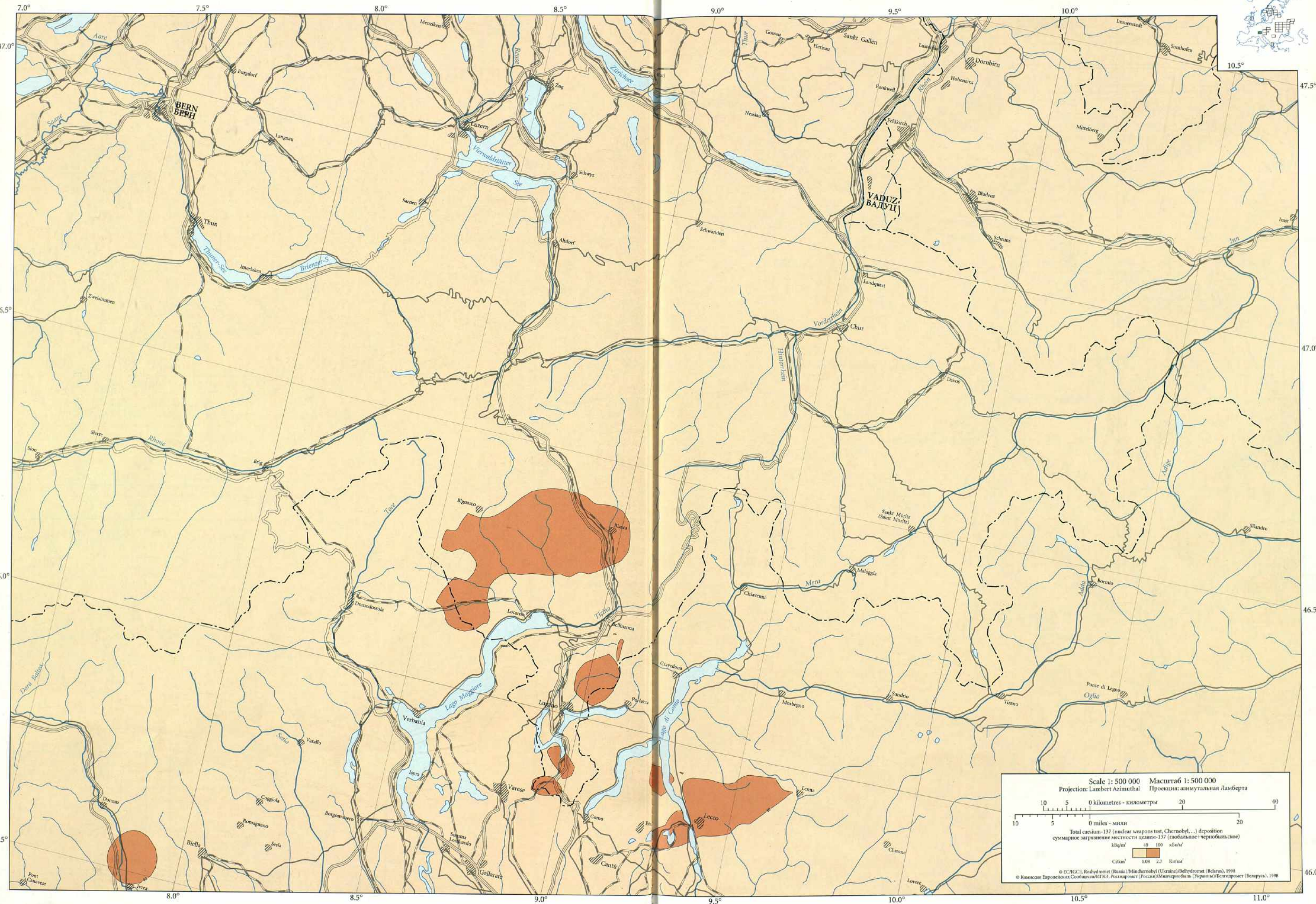


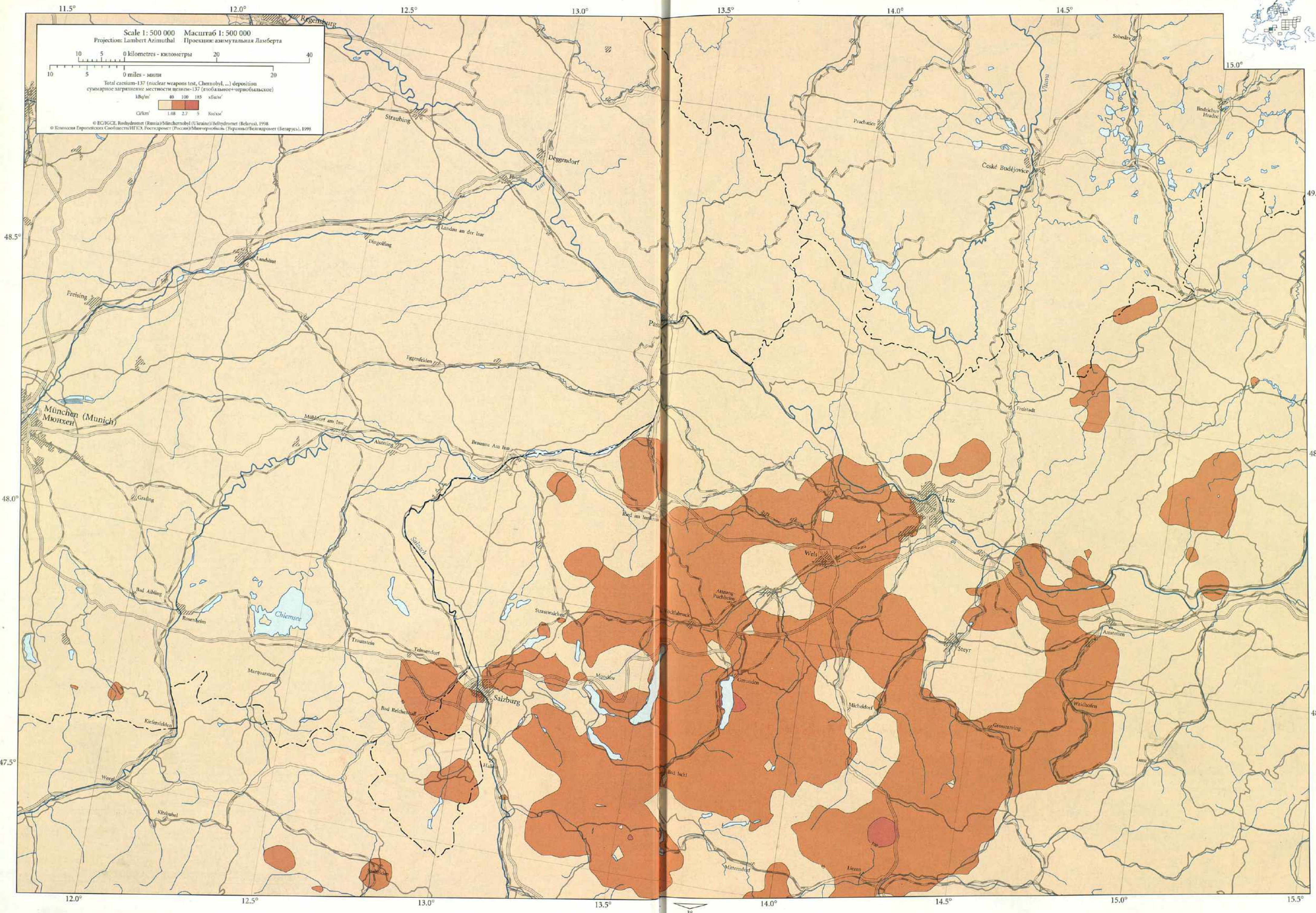


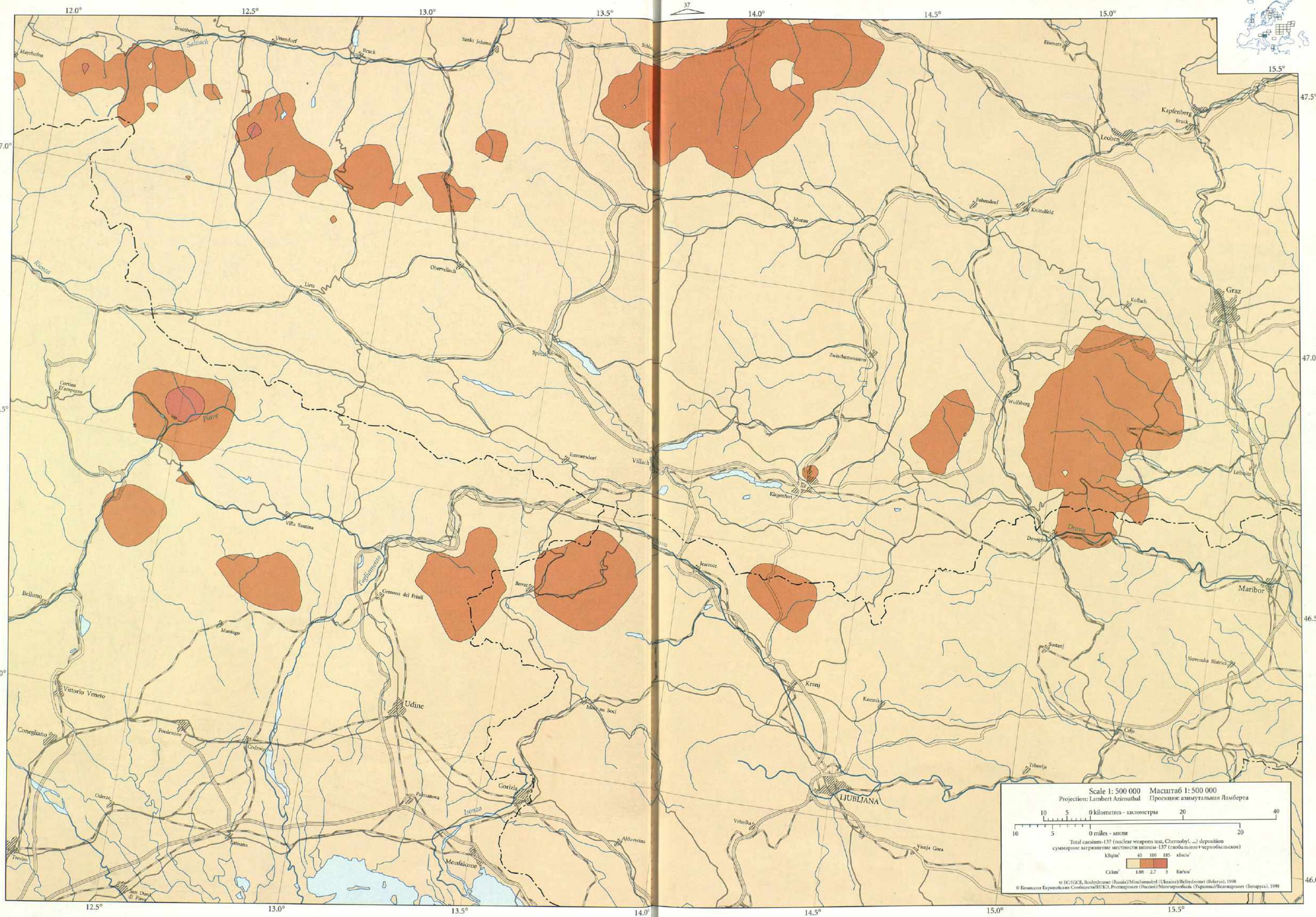


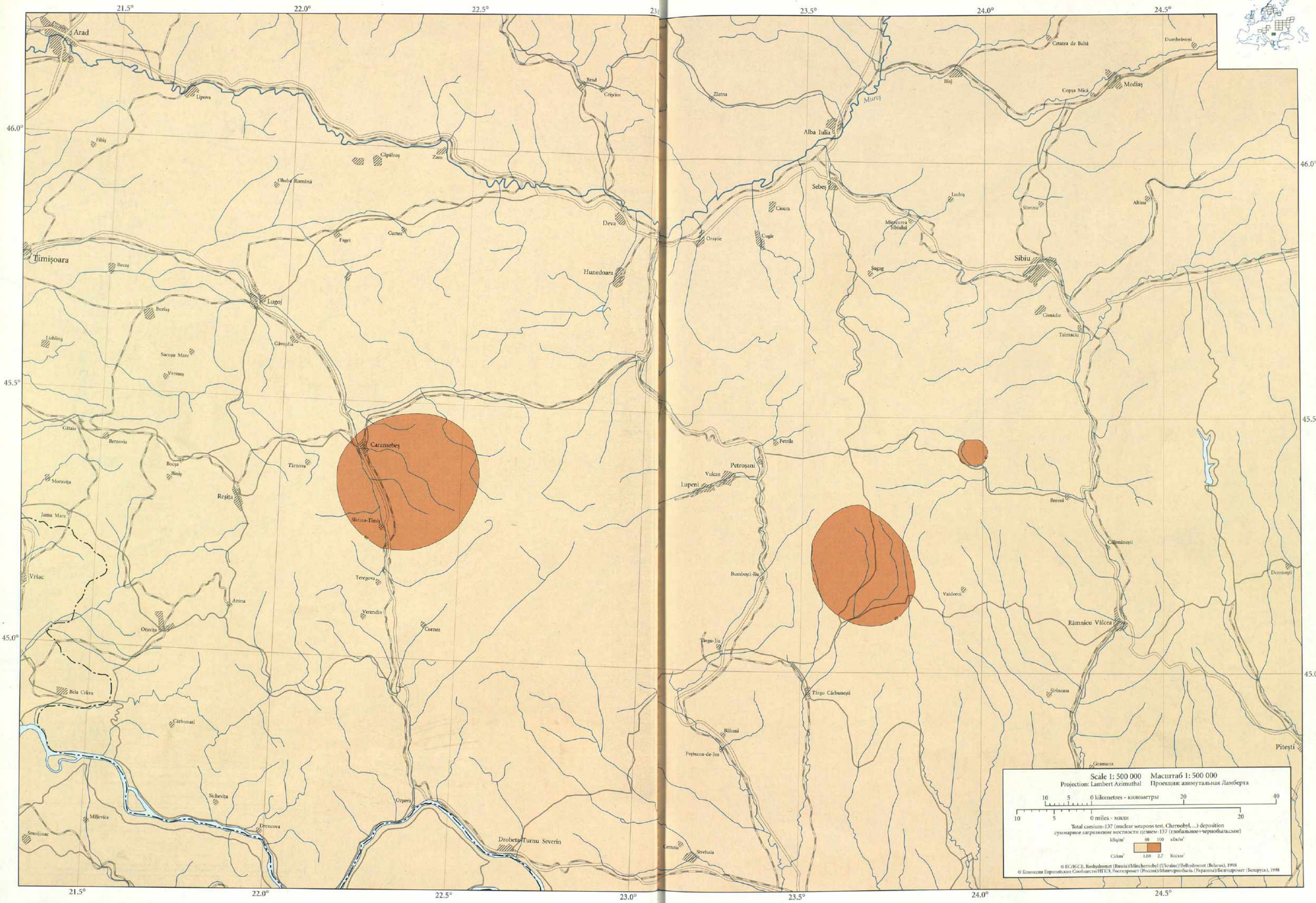












Scale 1: 500 000 Масштаб 1: 500 000
 Projection: Lambert Azimuthal Проекция: азимутальная Ламберта

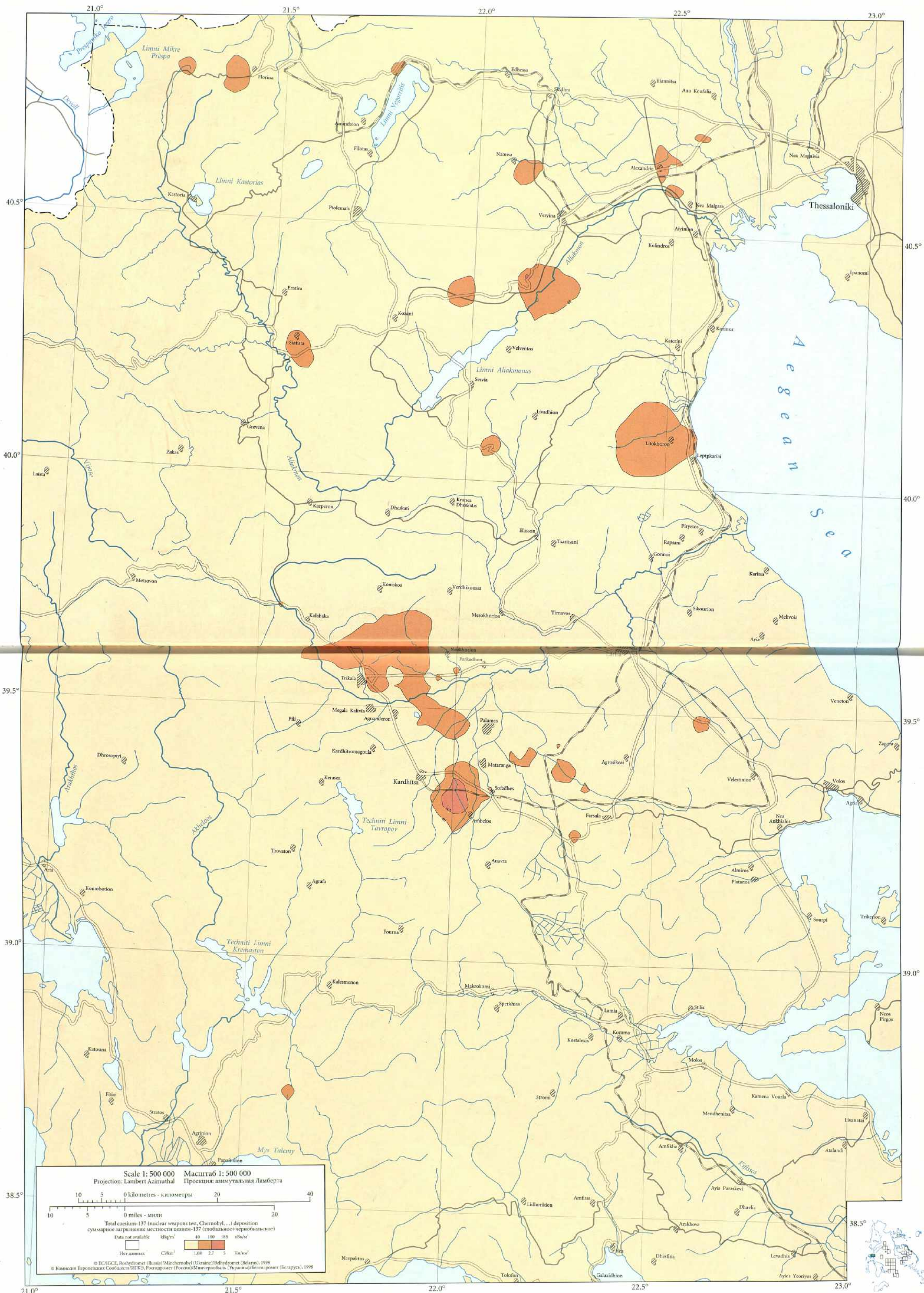
0 10 20 30 40
 kilometres - километры
 0 5 10 20
 miles - мили

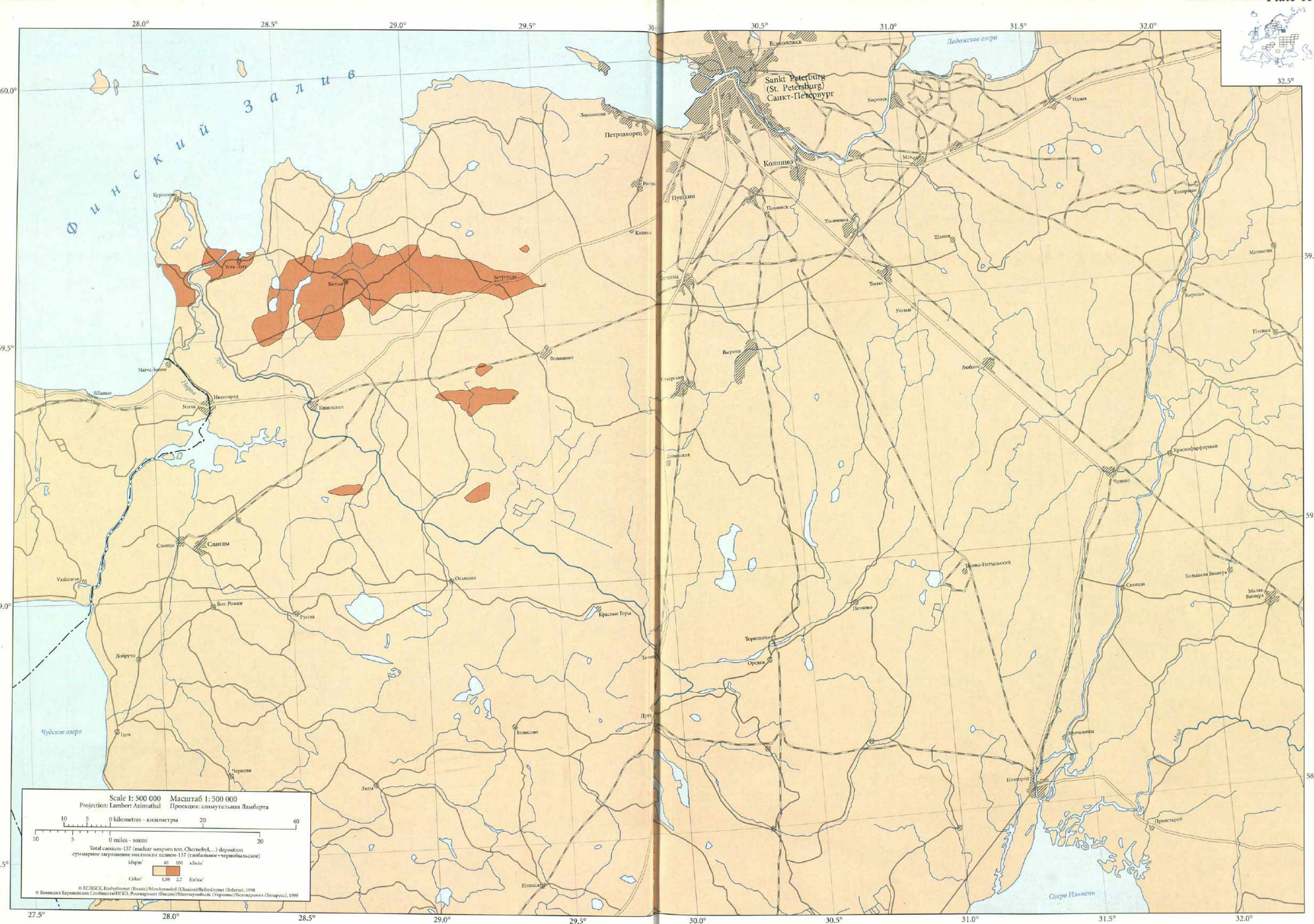
Total caesium-137 (nuclear weapons test, Chernobyl, ...) deposition
 суммарное загрязнение местности цезием-137 (глобальное + чернобыльское)
 kBq/m²

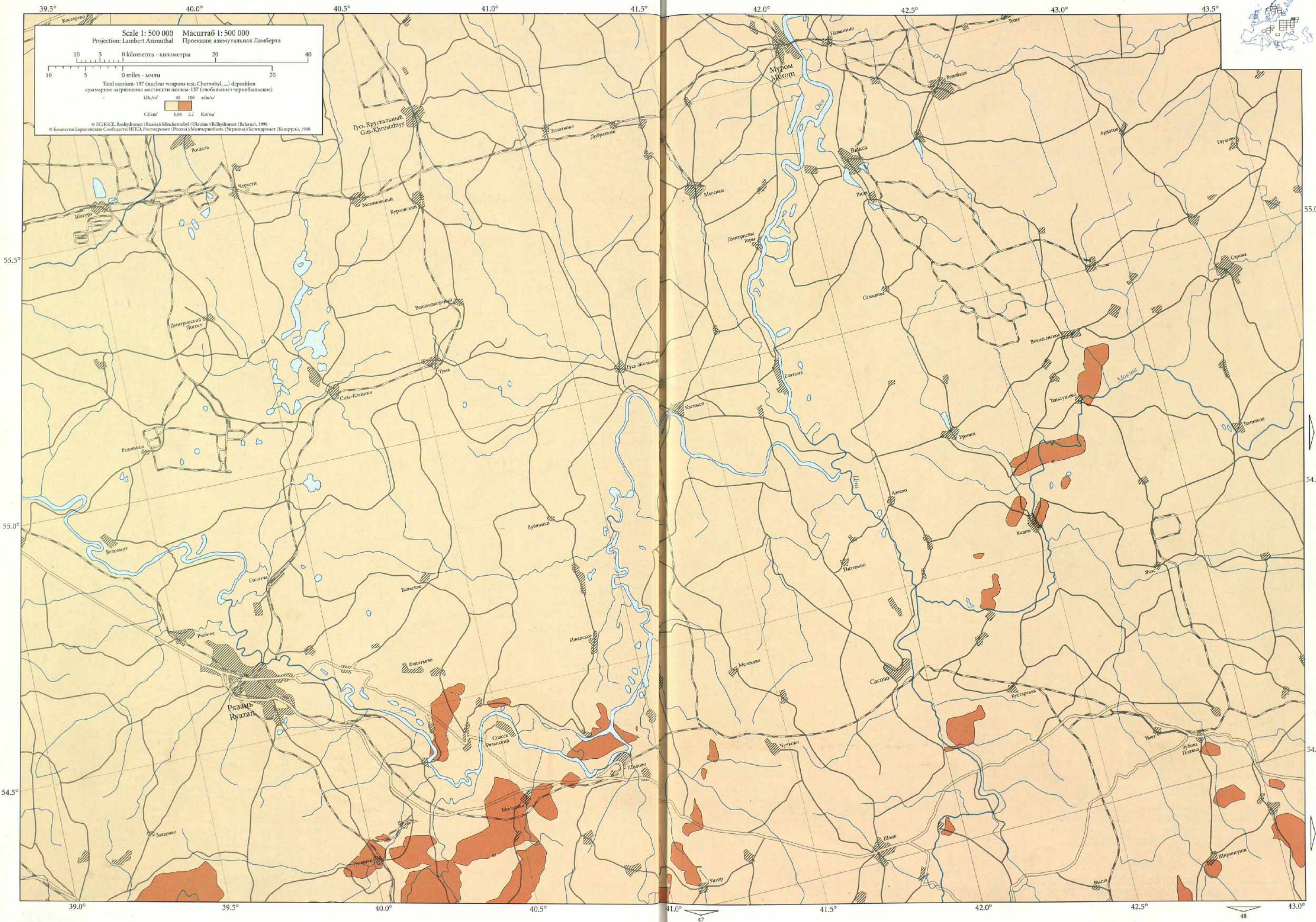
0 100 200 300
 kBq/m²

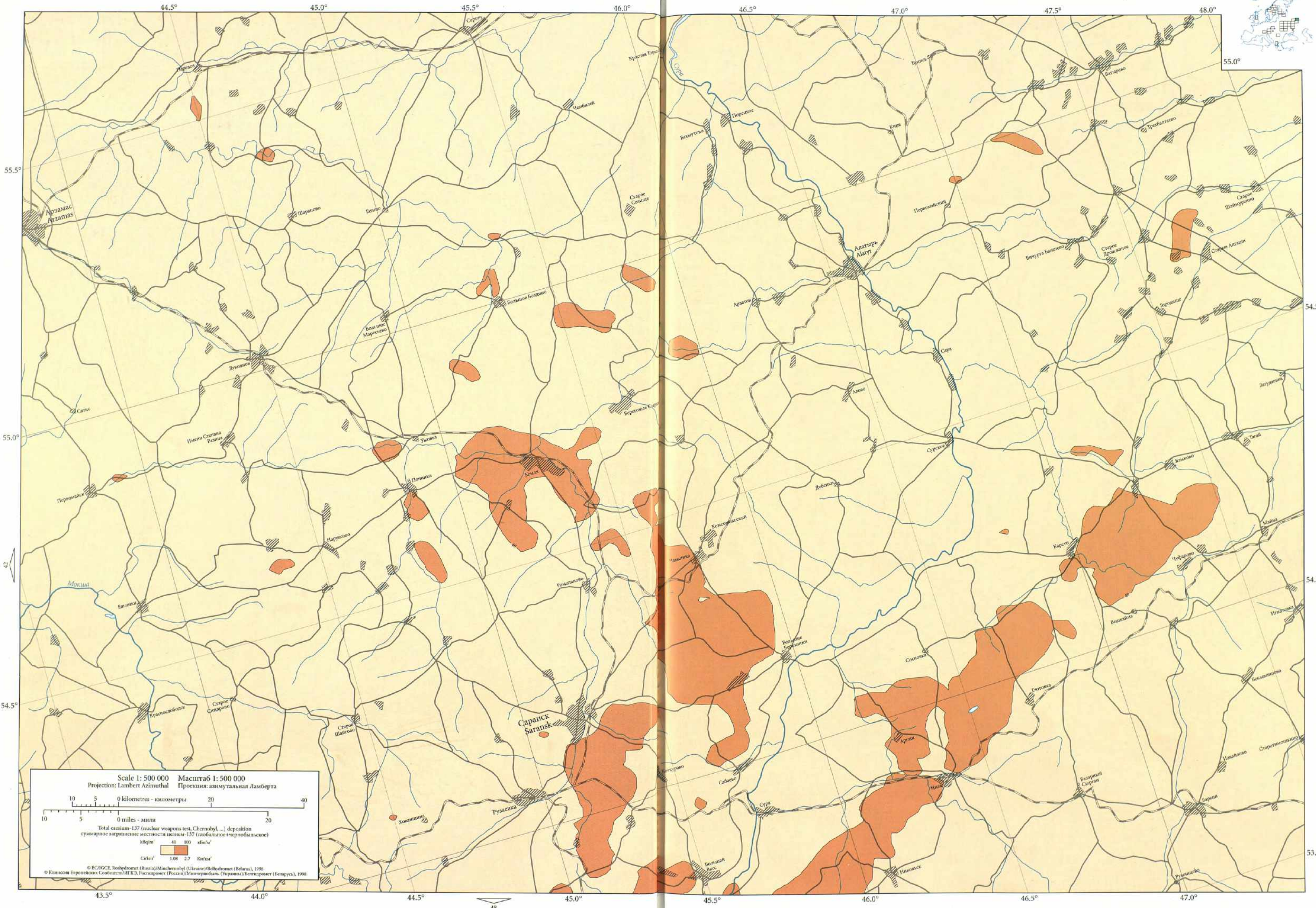
0.08 2.7 1000
 Ci/km² Ки/км²

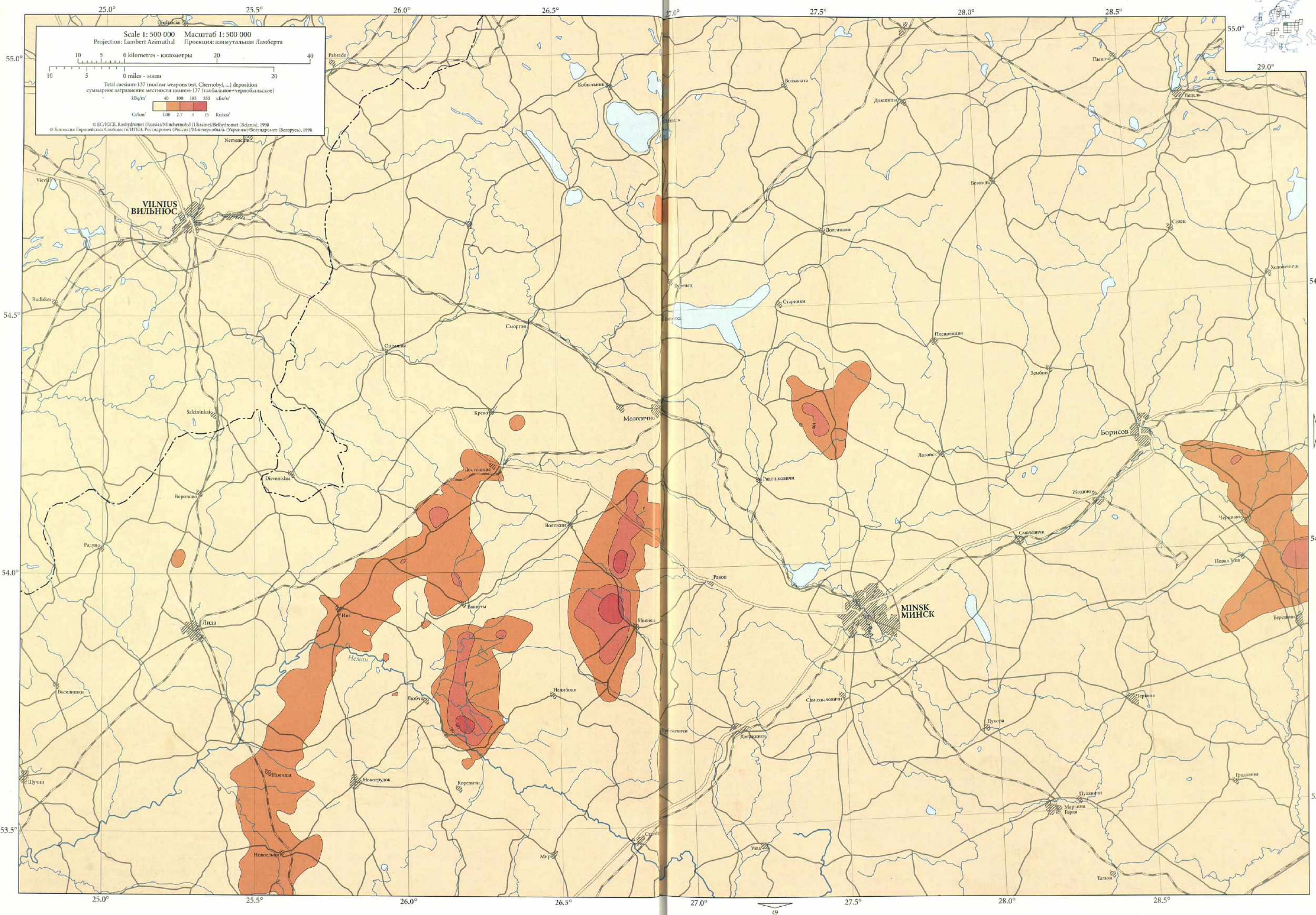
© EC/JCCE, Roshydromet (Russia)/Mincherobyl (Ukraine)/Belhydromet (Belarus), 1998
 © Комиссия Европейских Сообществ/ИГЭС, Росгидромет (Россия)/Мингидромет (Украина)/Белгидромет (Беларусь), 1998

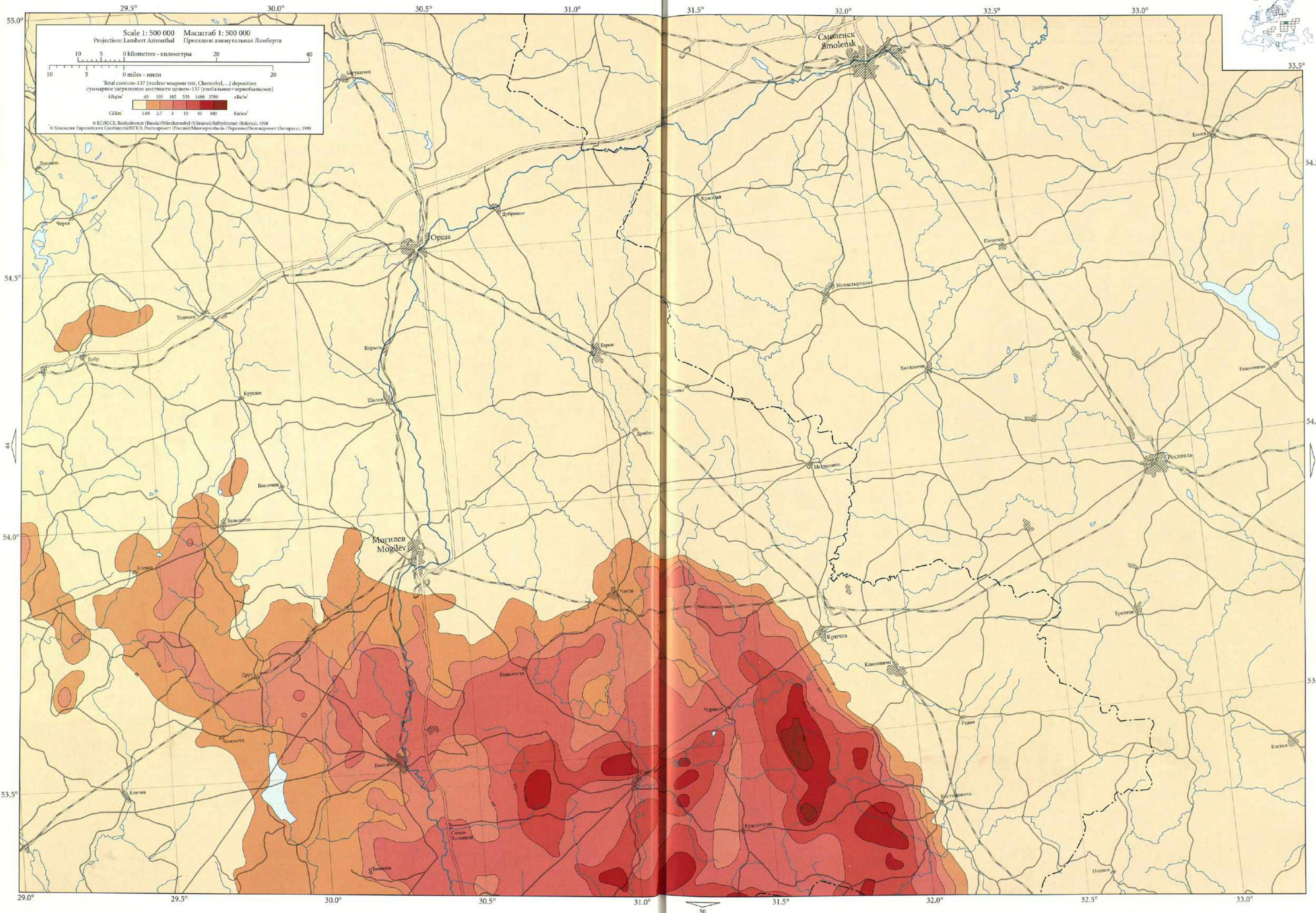


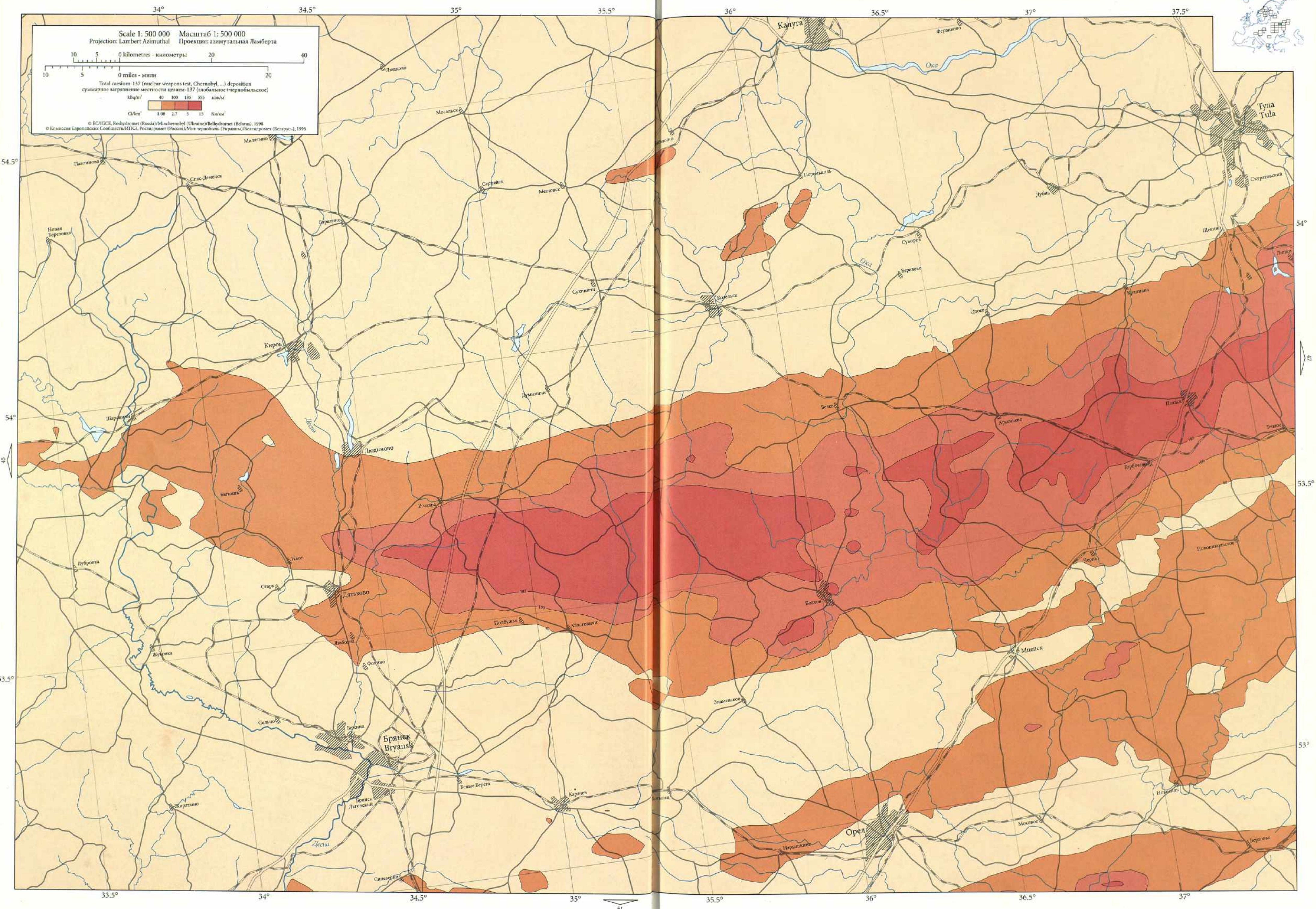


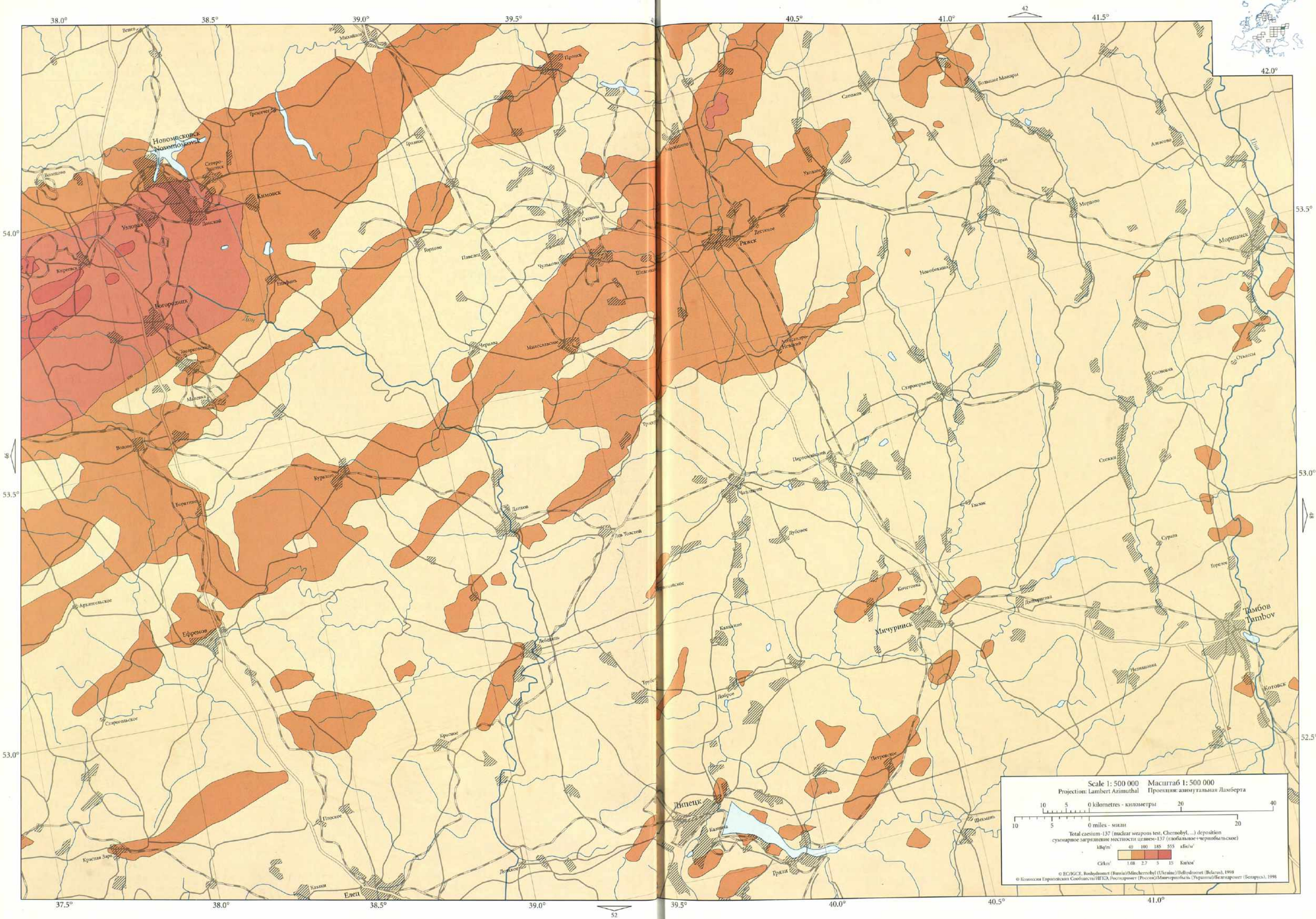


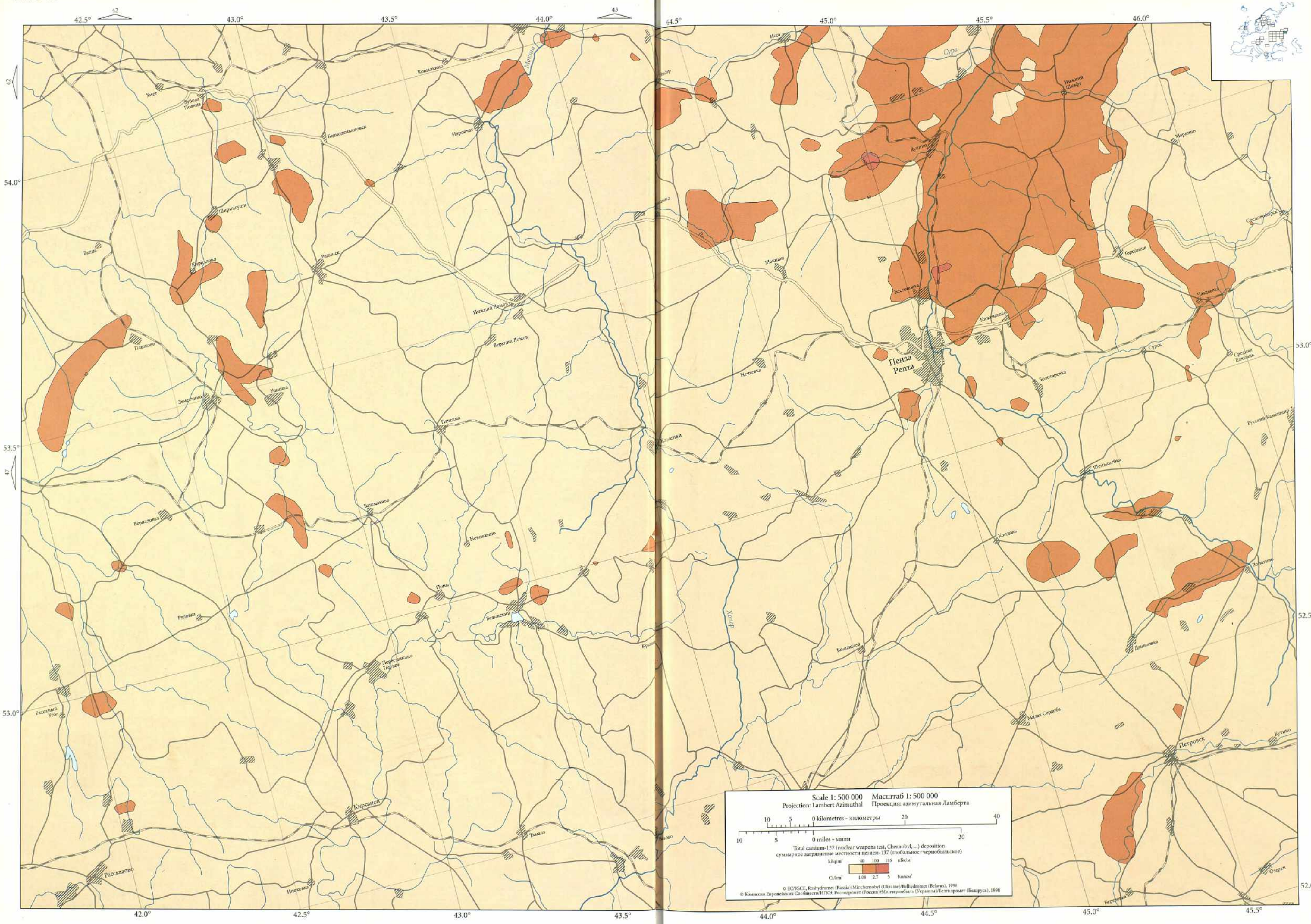


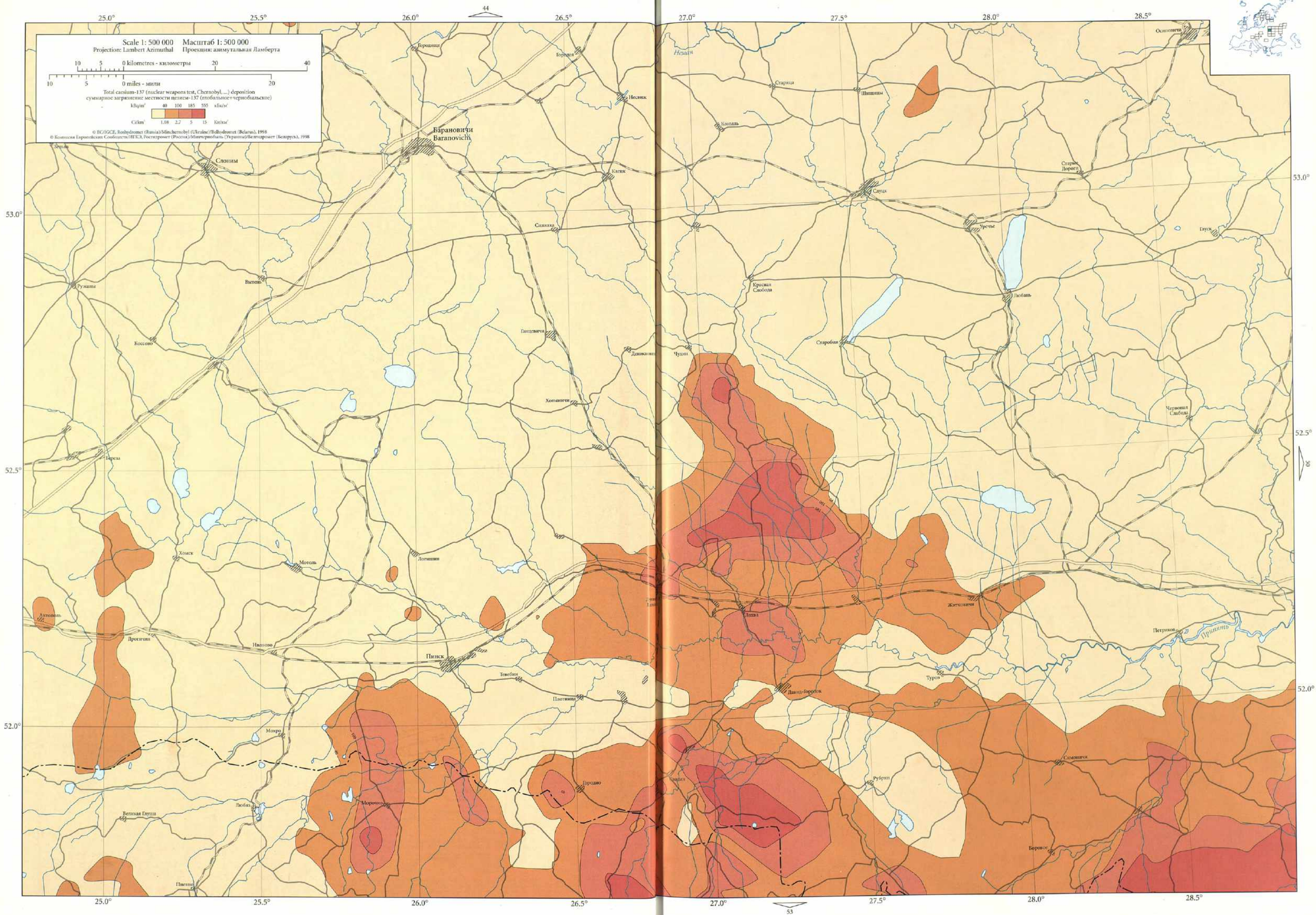


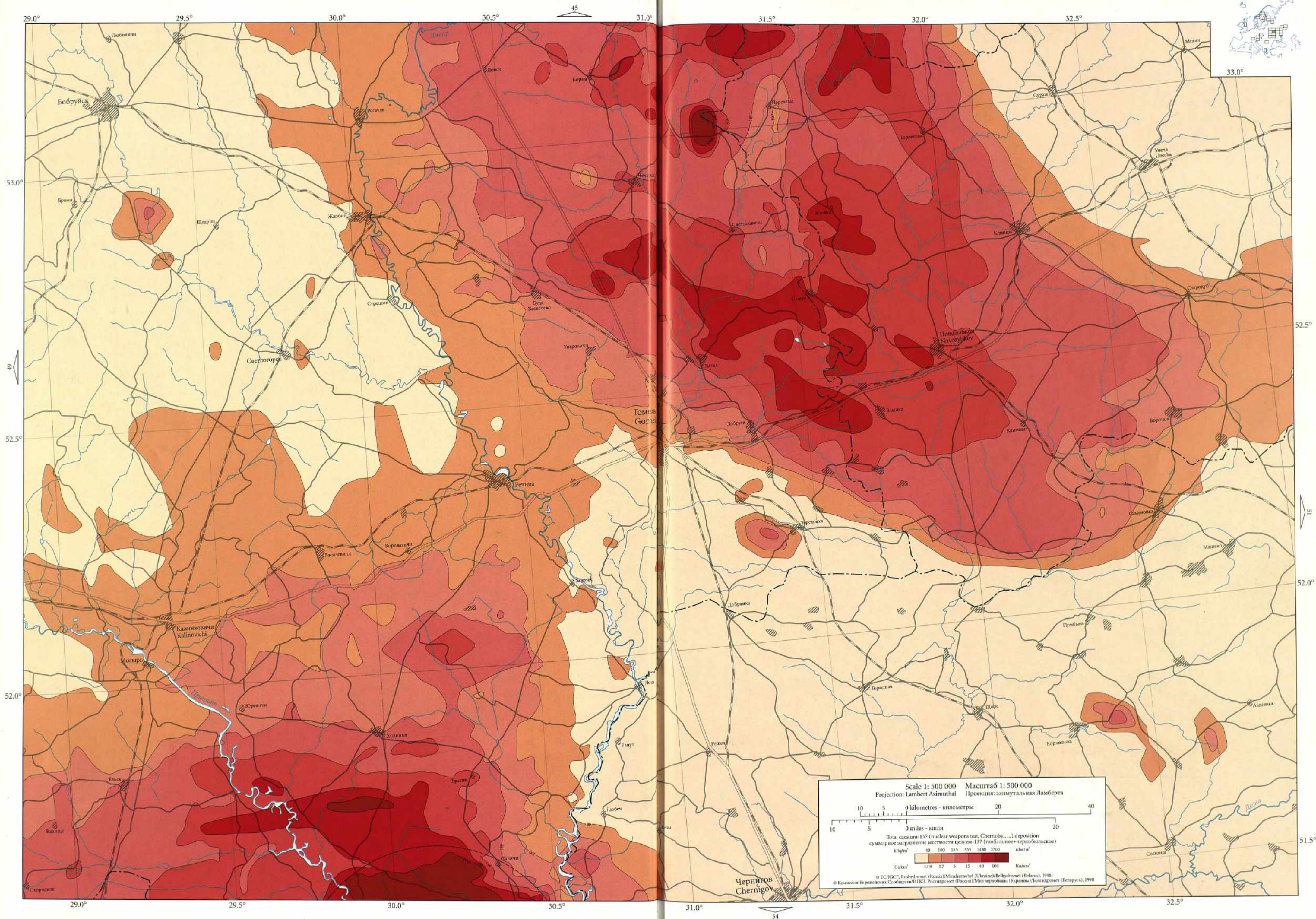


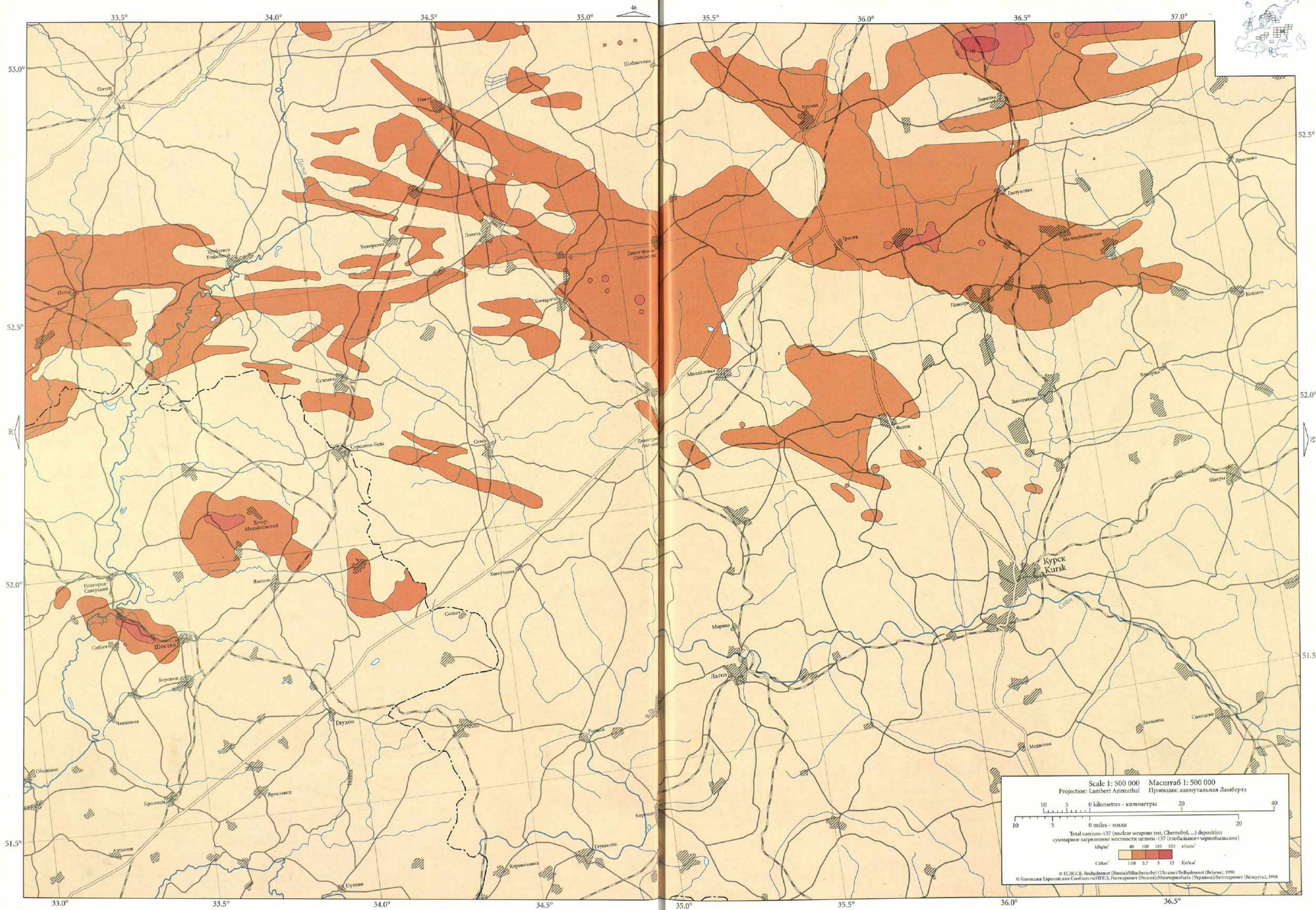


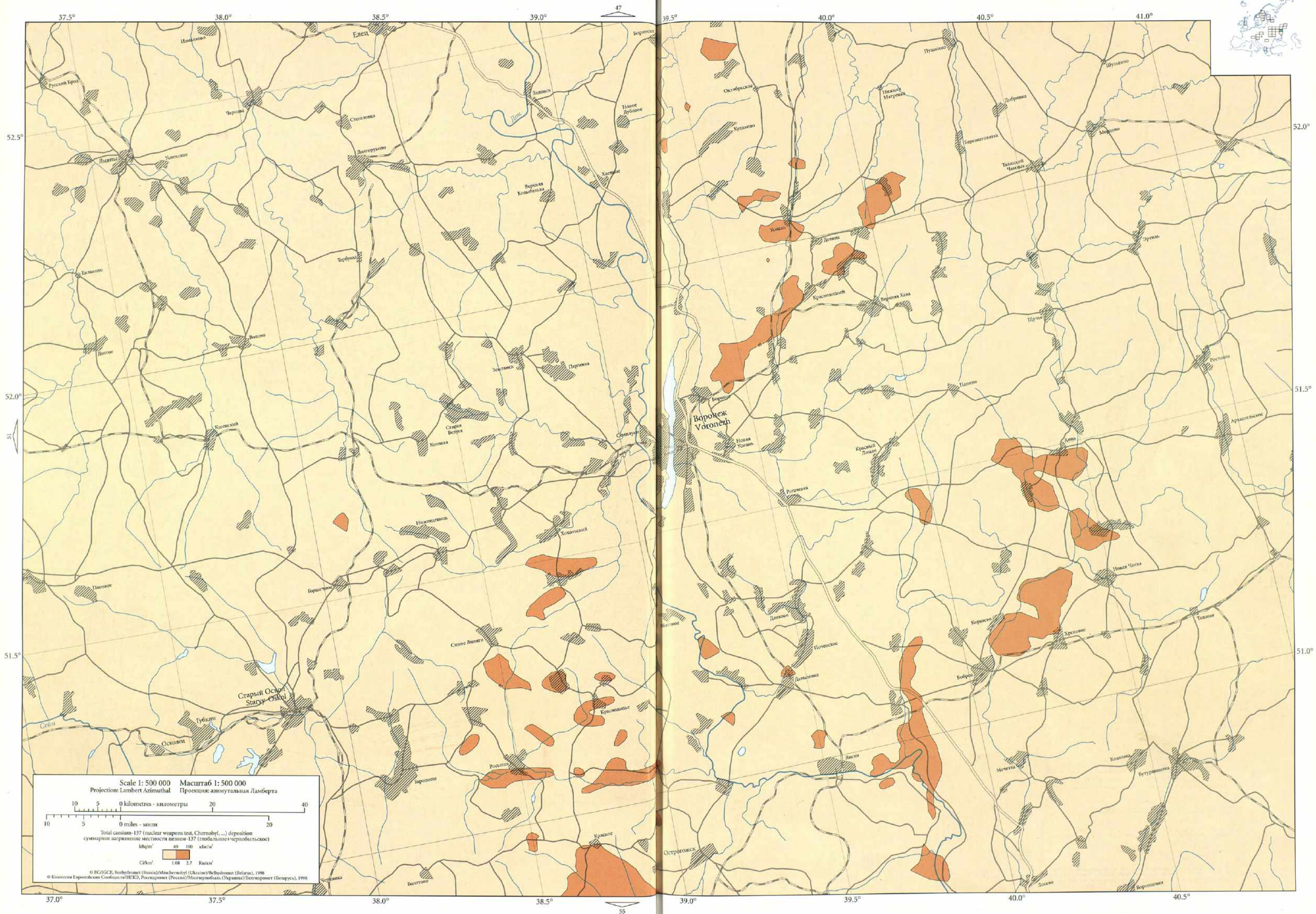


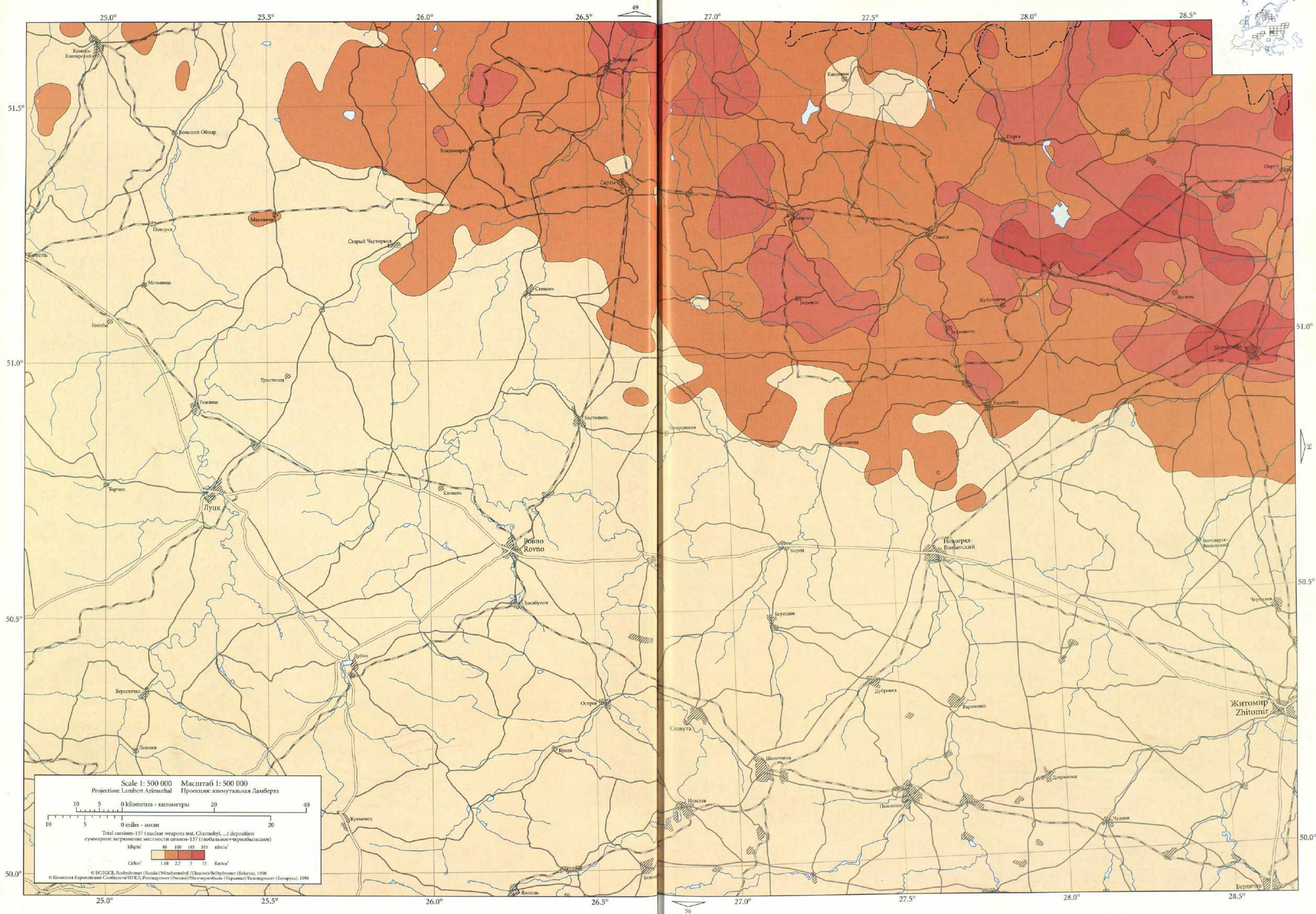


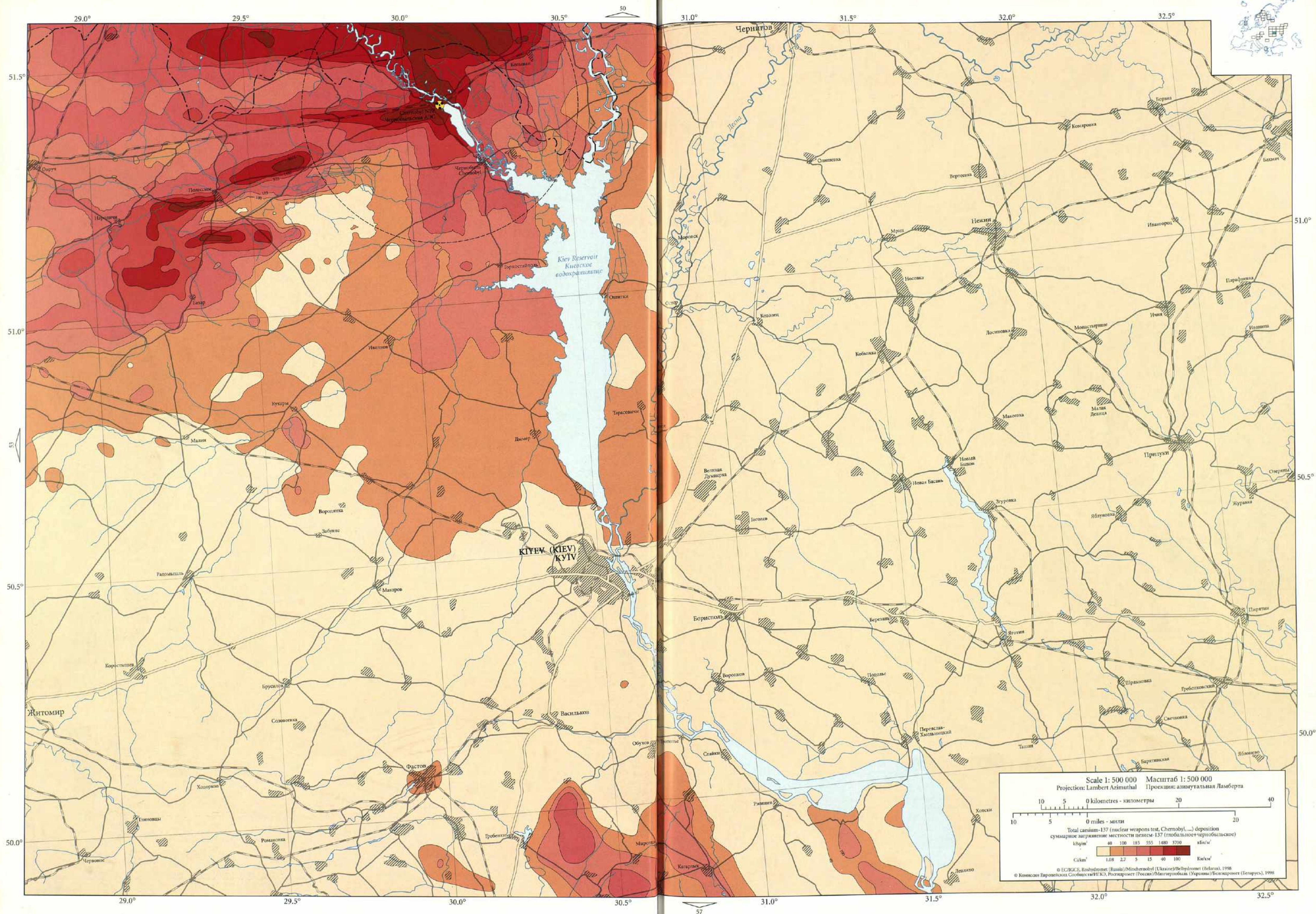


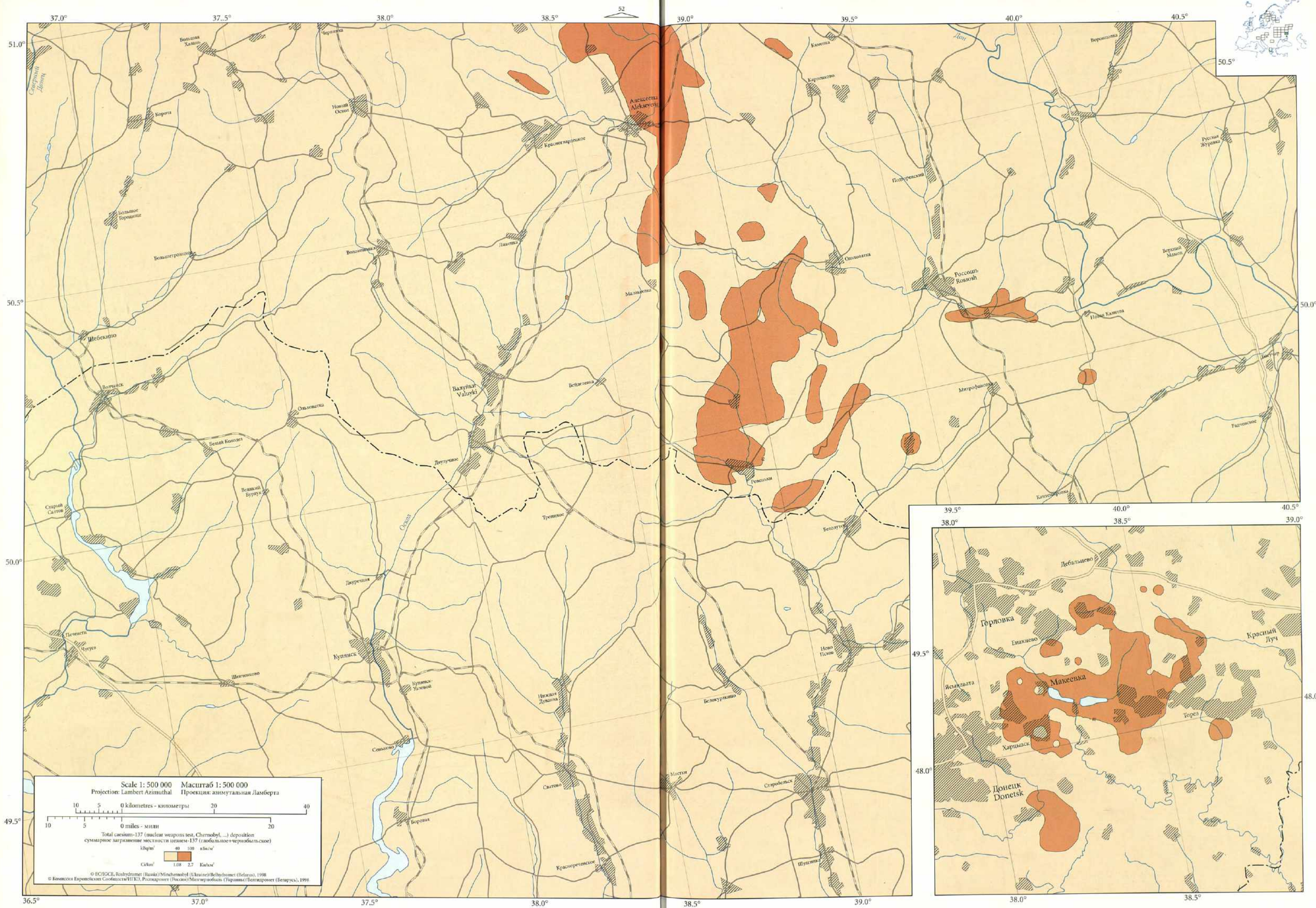


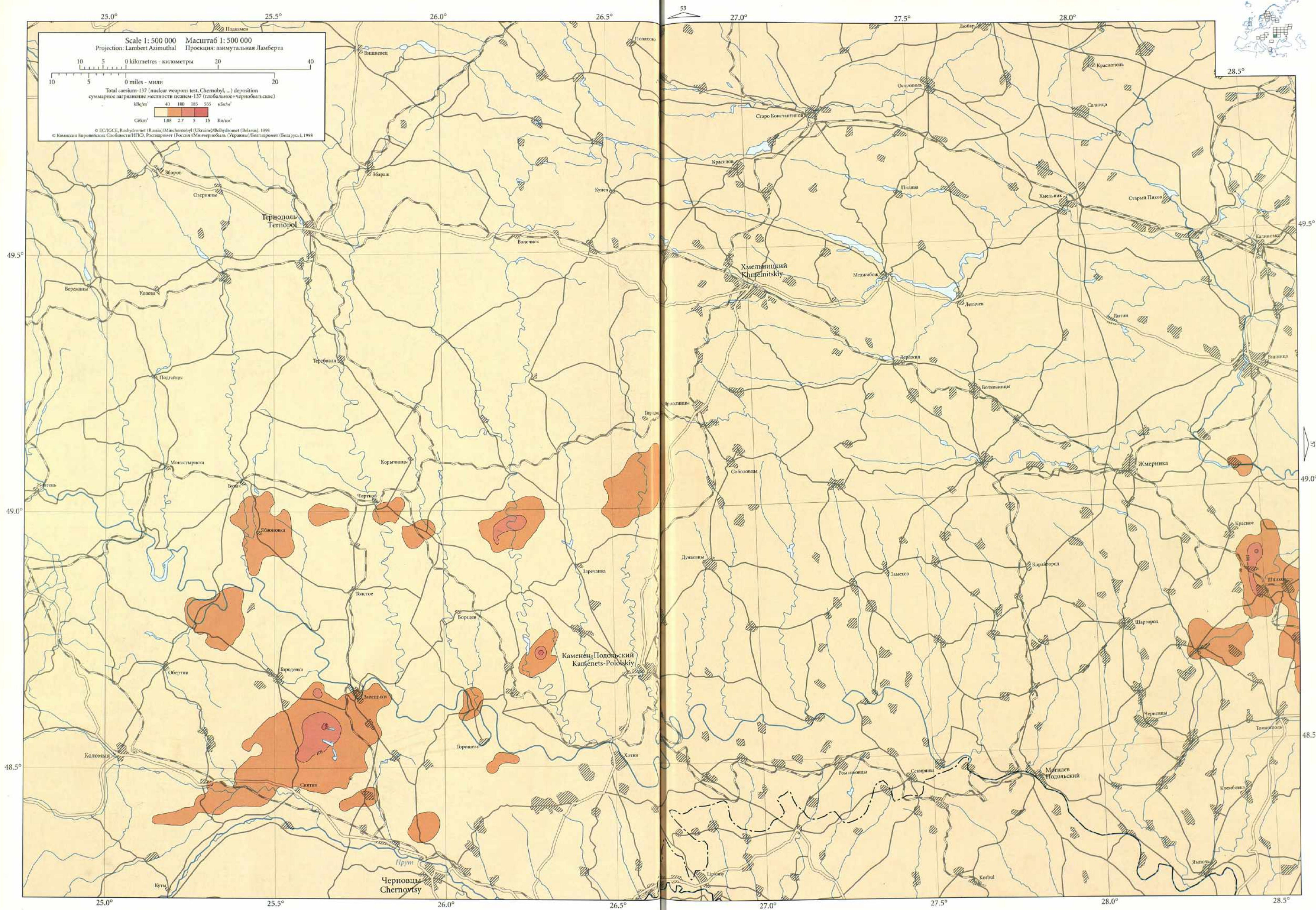


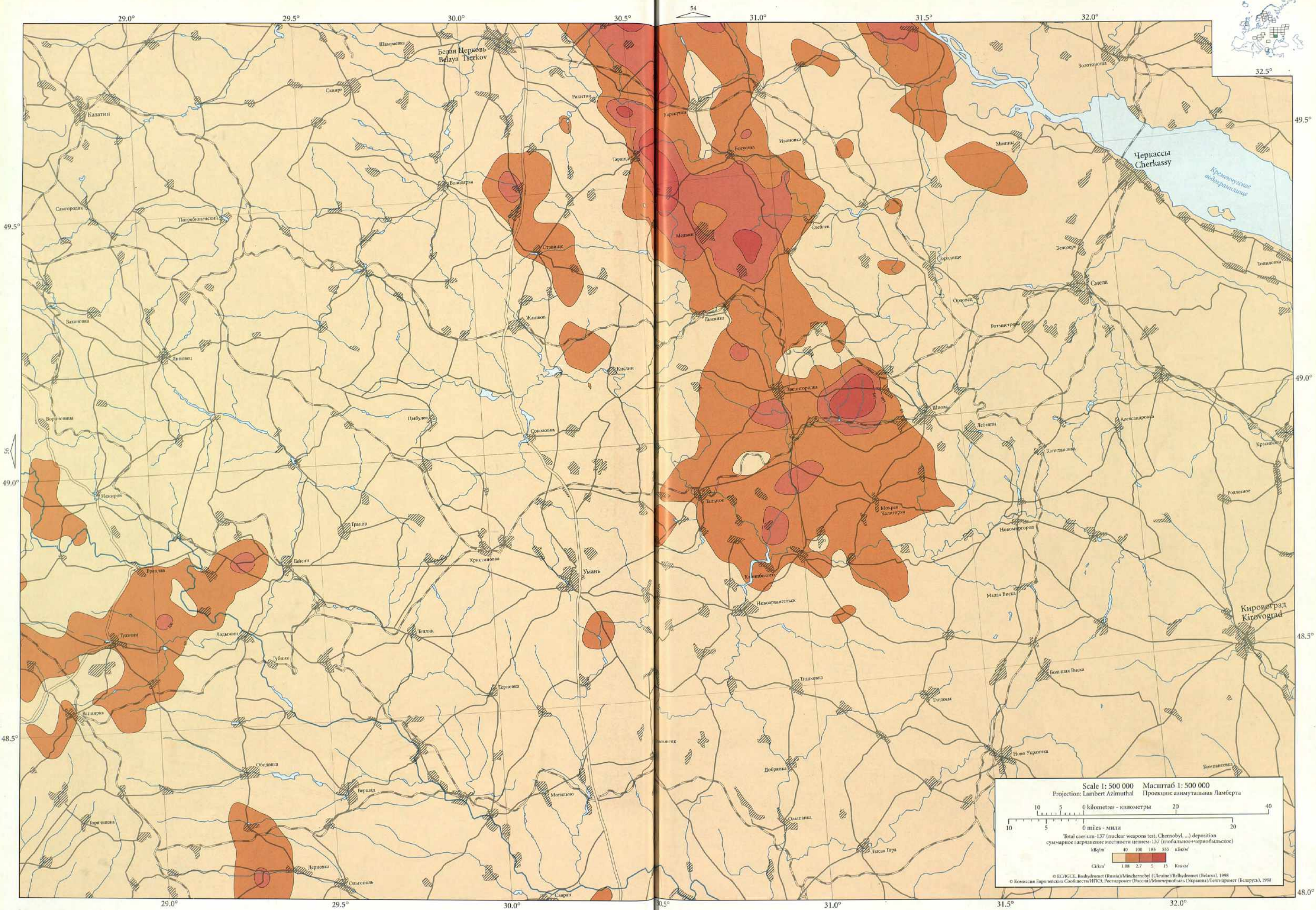


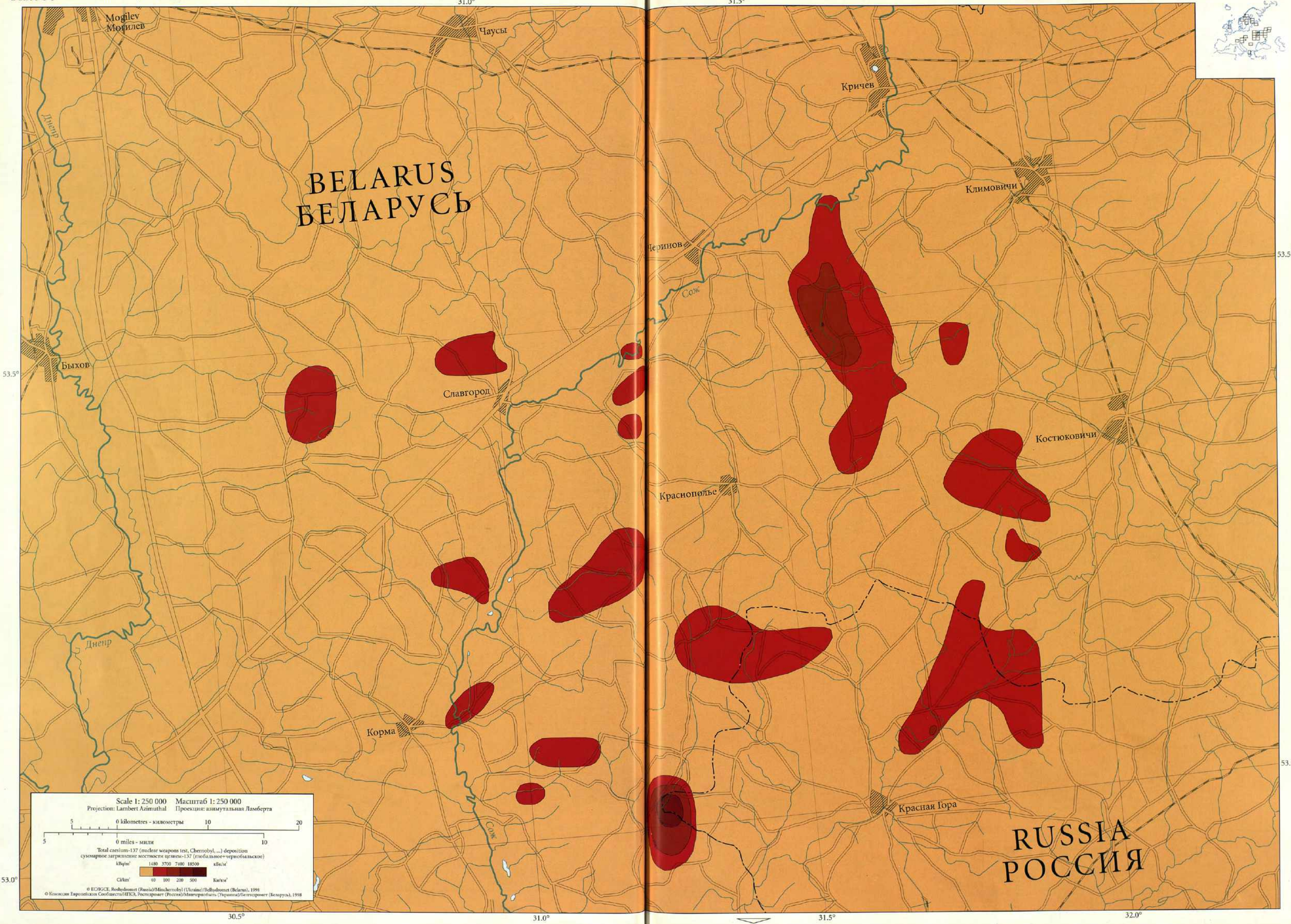












Scale 1: 250 000 Масштаб 1: 250 000
 Projection: Lambert Azimuthal Проекция: азимутальная Ламберта

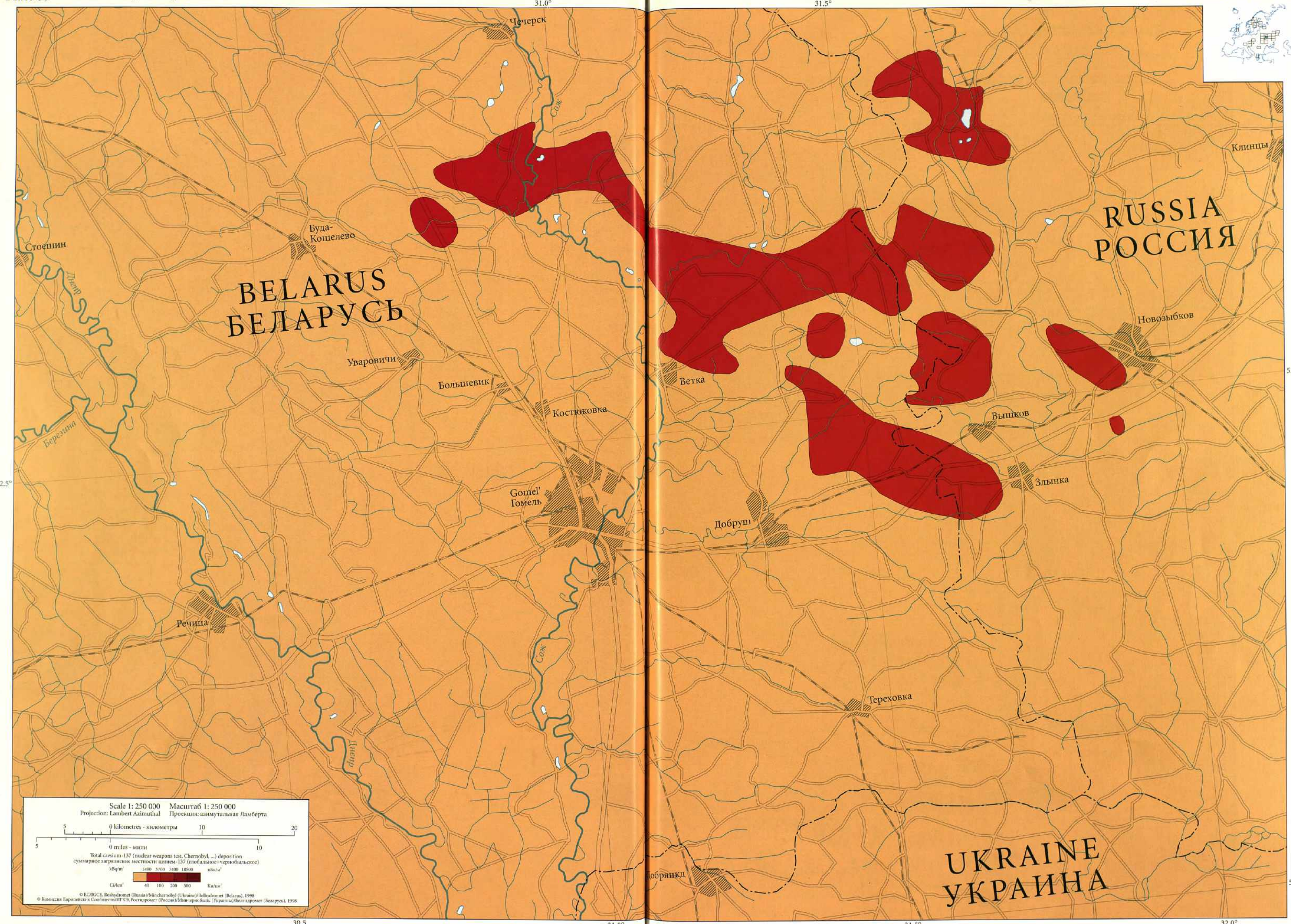
0 kilometres - километры 10 20
 0 miles - мили 10

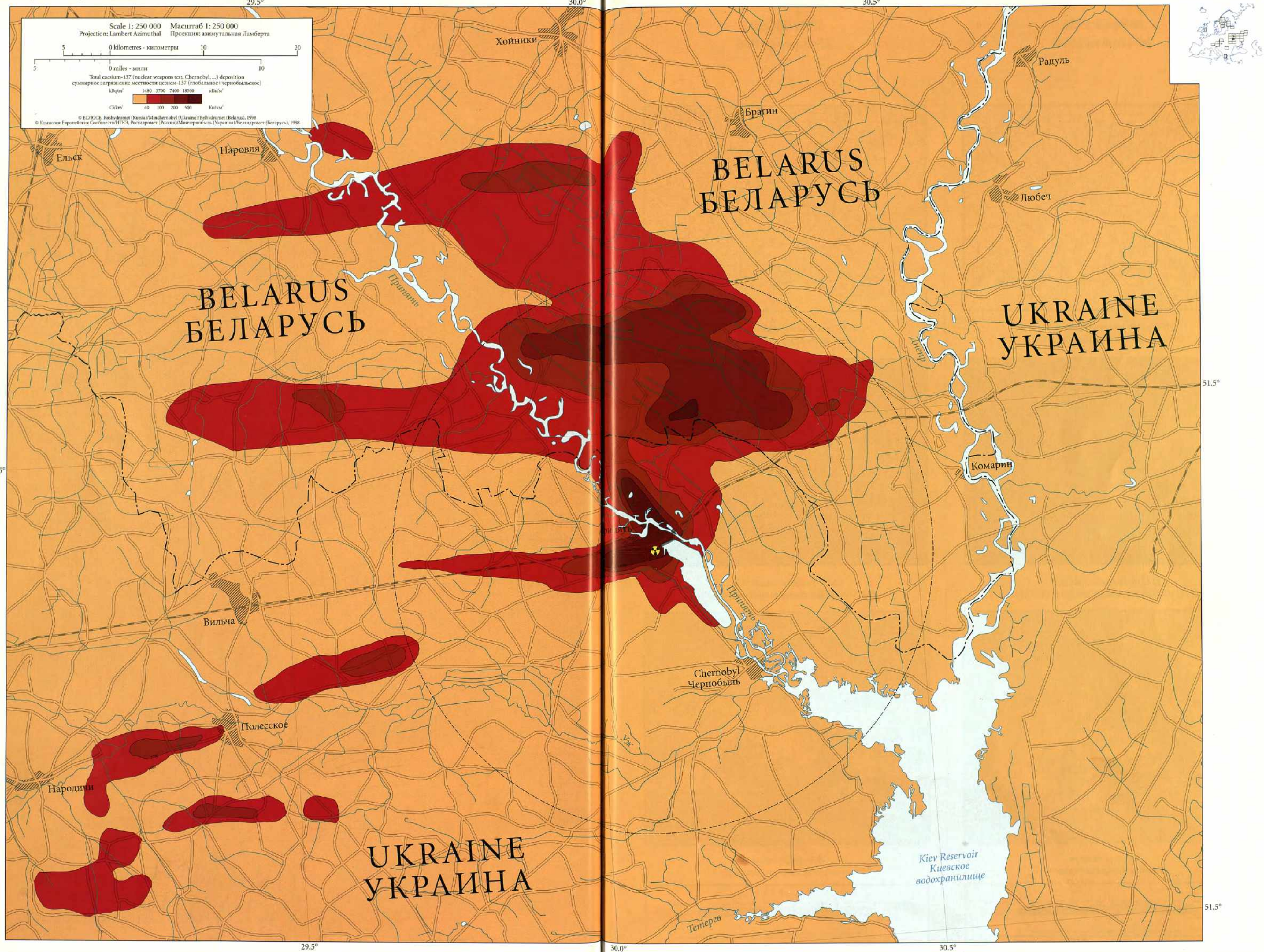
Total caesium-137 (nuclear weapons test, Chernobyl, ...) deposition
 суммарное загрязнение местности цезием-137 (глобальное+чернобыльское)

кБк/м²	кБк/м²
1400	3700
7100	18500

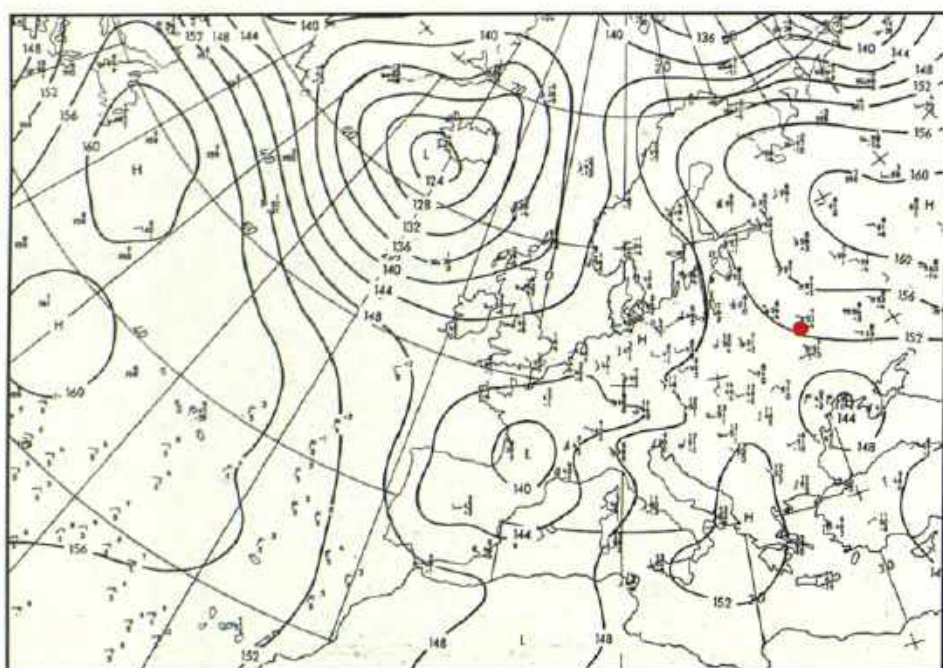
С/км² 40 100 200 500 К/км²

© EC/IGCE, Roshydromet (Russia)/Minchermet (Ukraine)/Belhydromet (Belarus), 1998
 © Комиссия Европейских Сообществ/ИГЭС, Росгидромет (Россия)/Минчермет (Украина)/Белгидромет (Беларусь), 1998

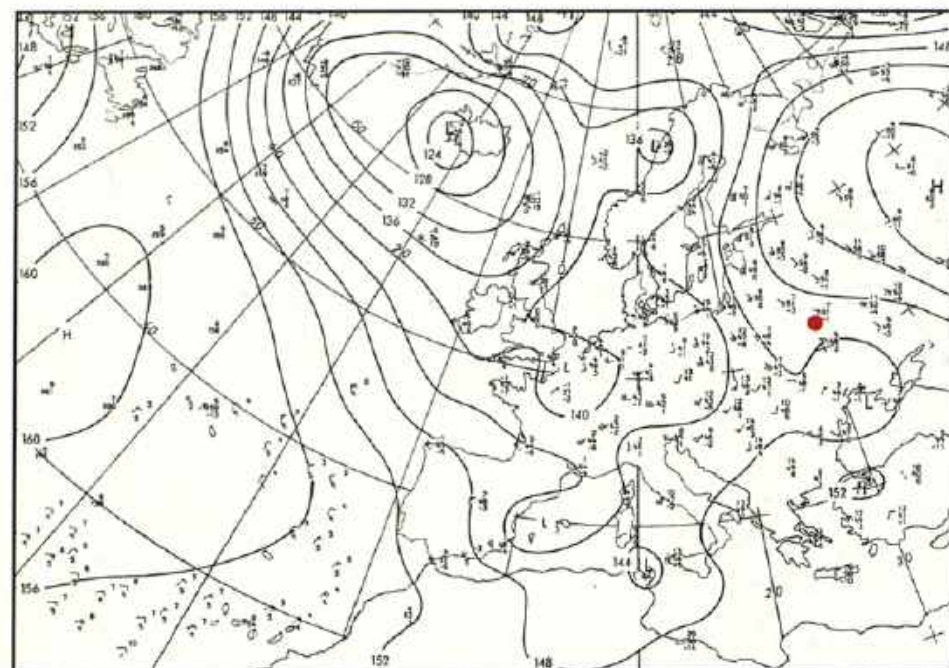




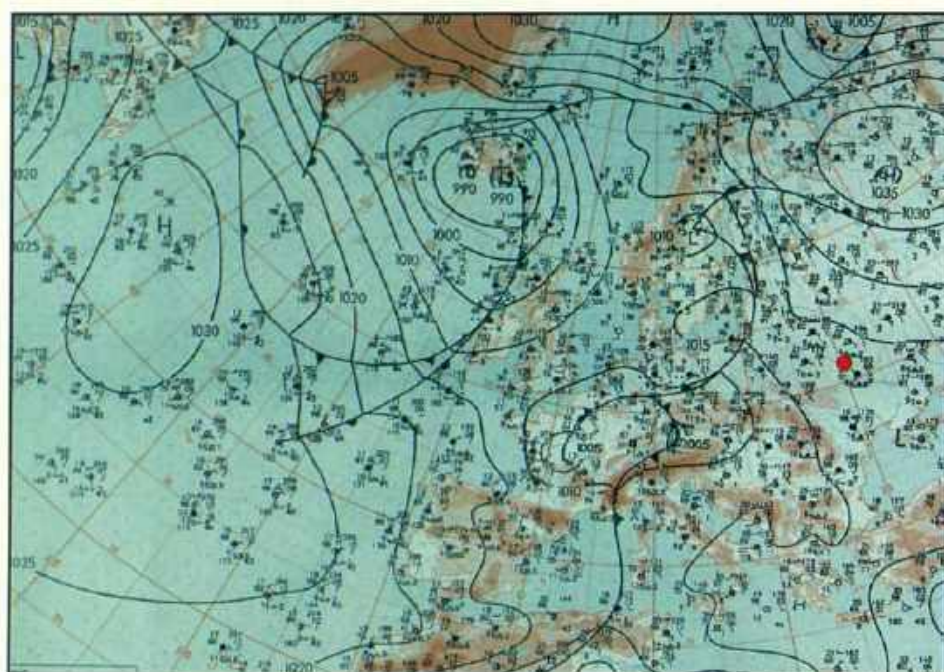
26 April 1986
26 апреля 1986



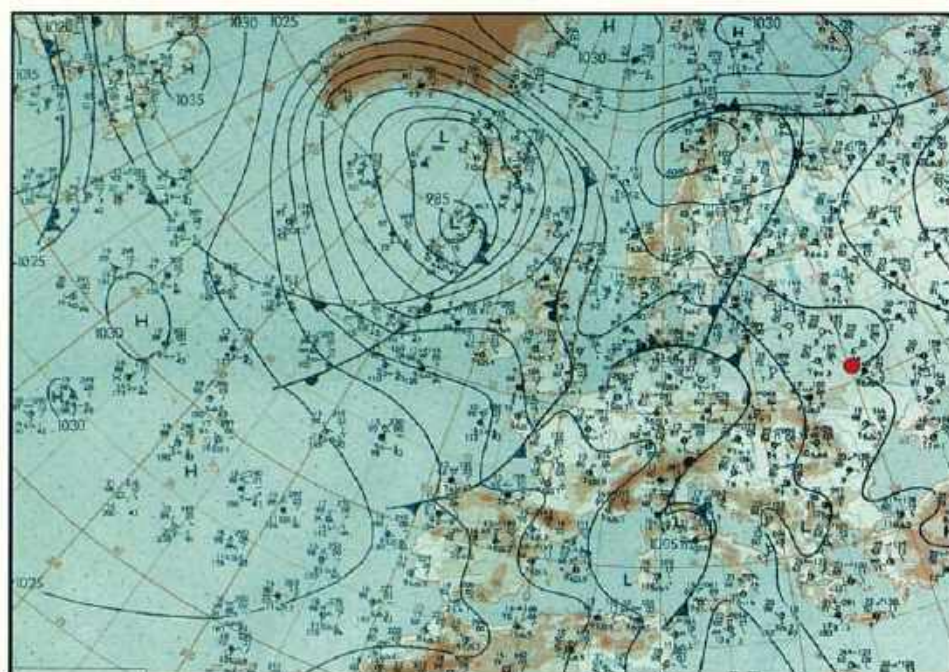
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



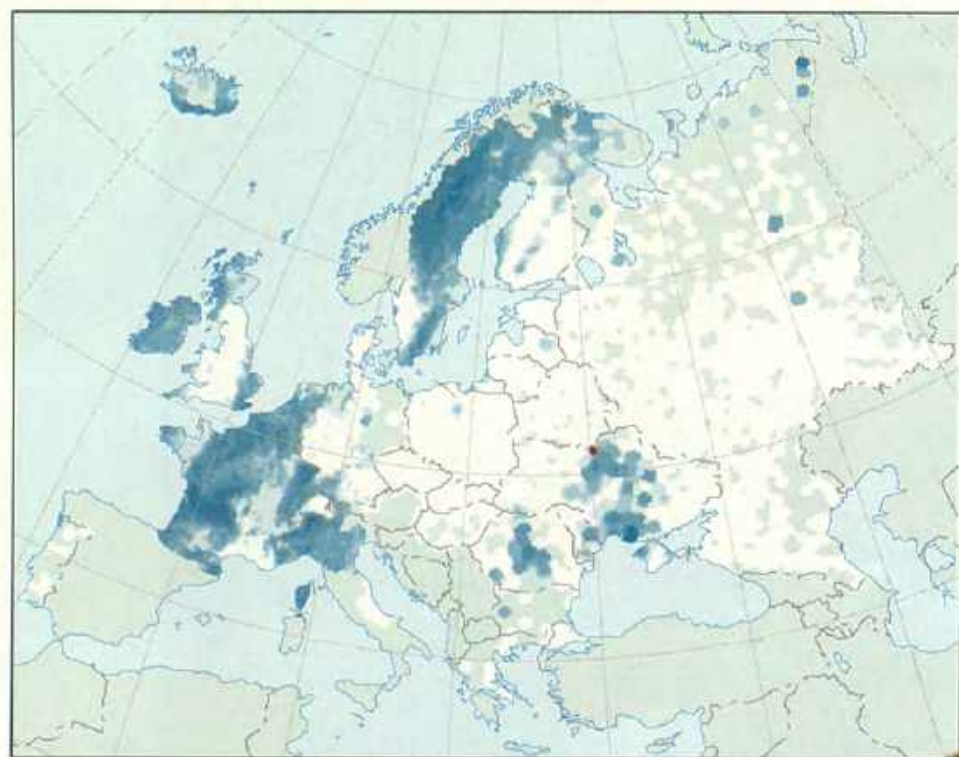
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



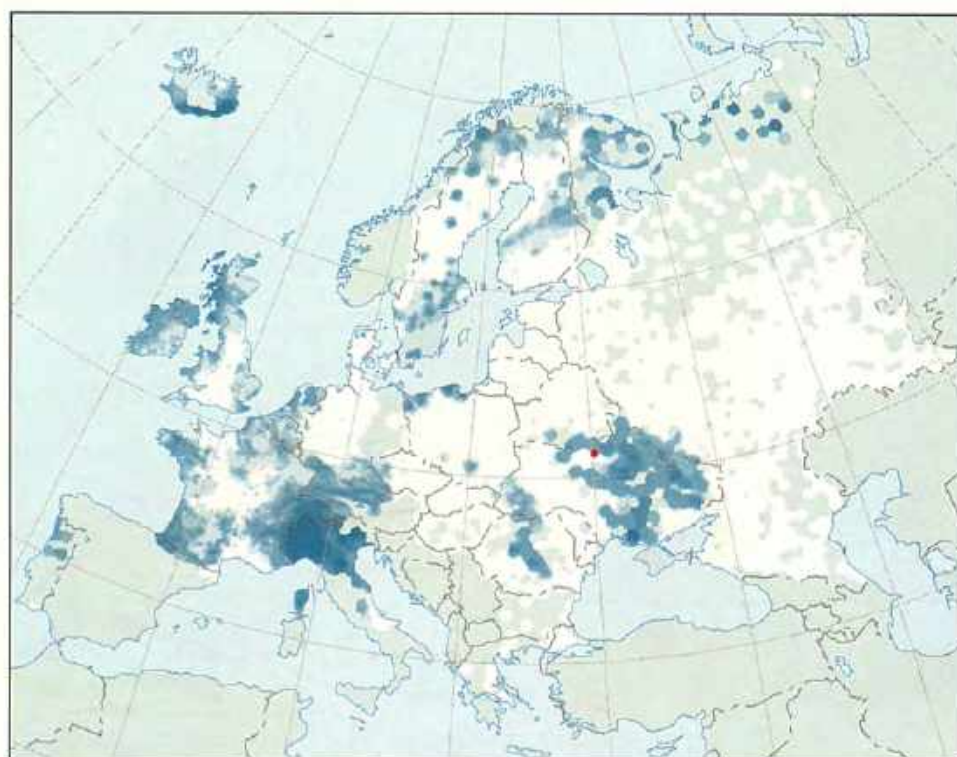
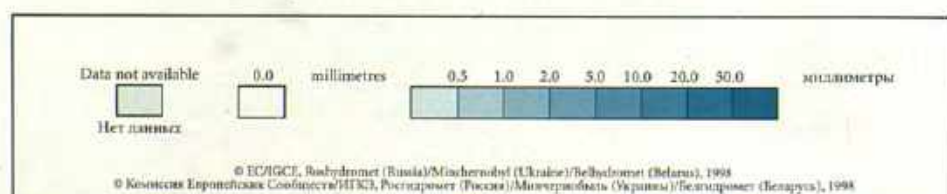
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



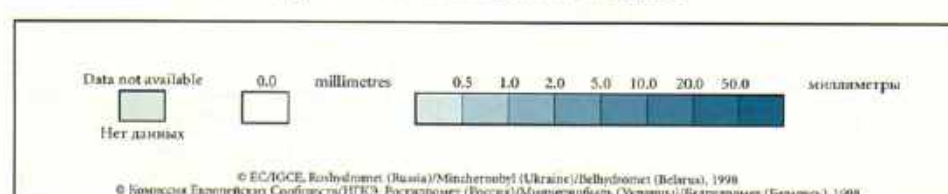
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



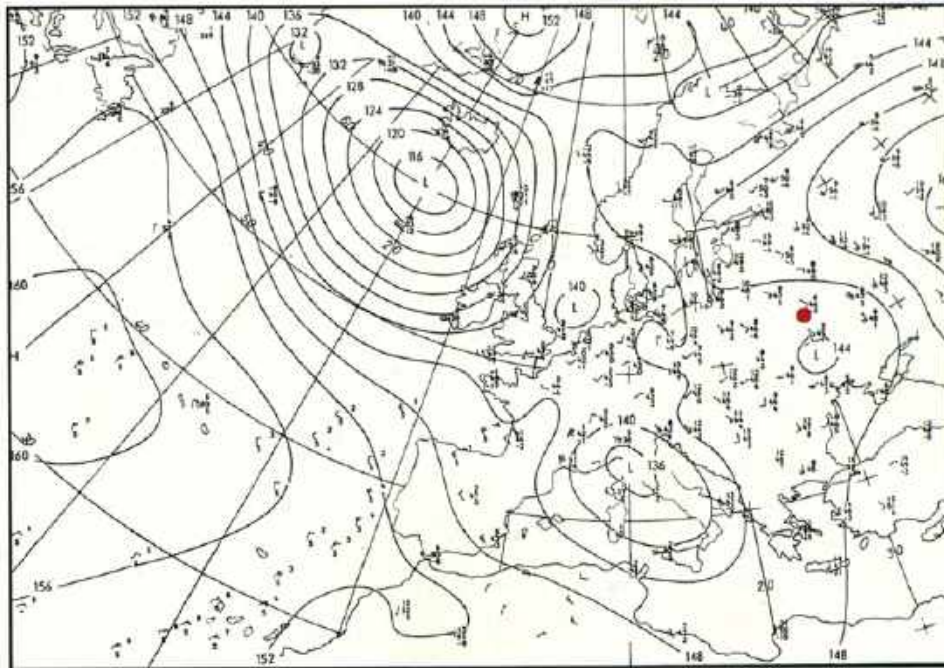
daily precipitation
суточное выпадение осадков



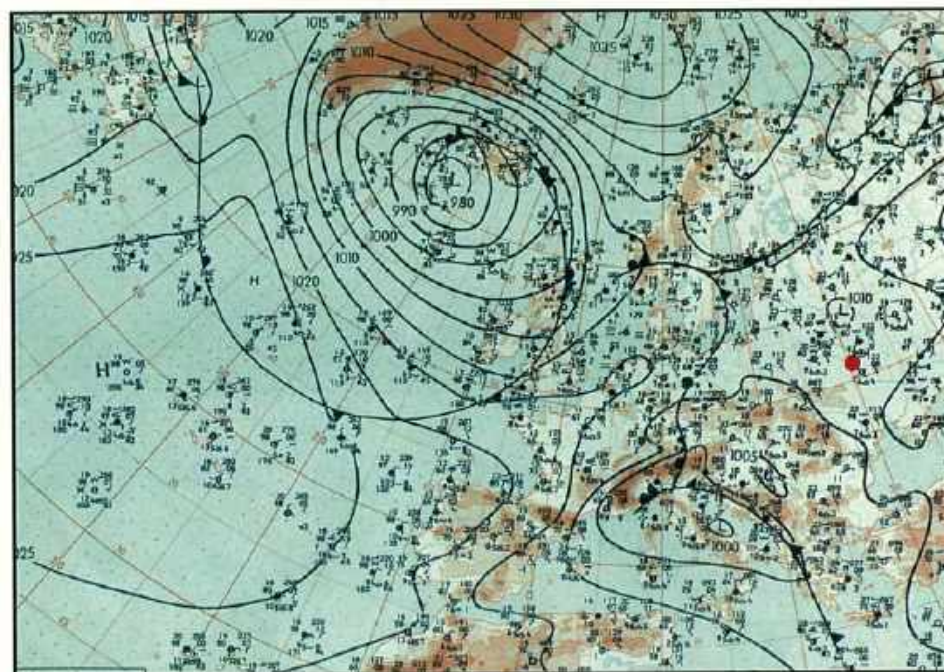
daily precipitation
суточное выпадение осадков



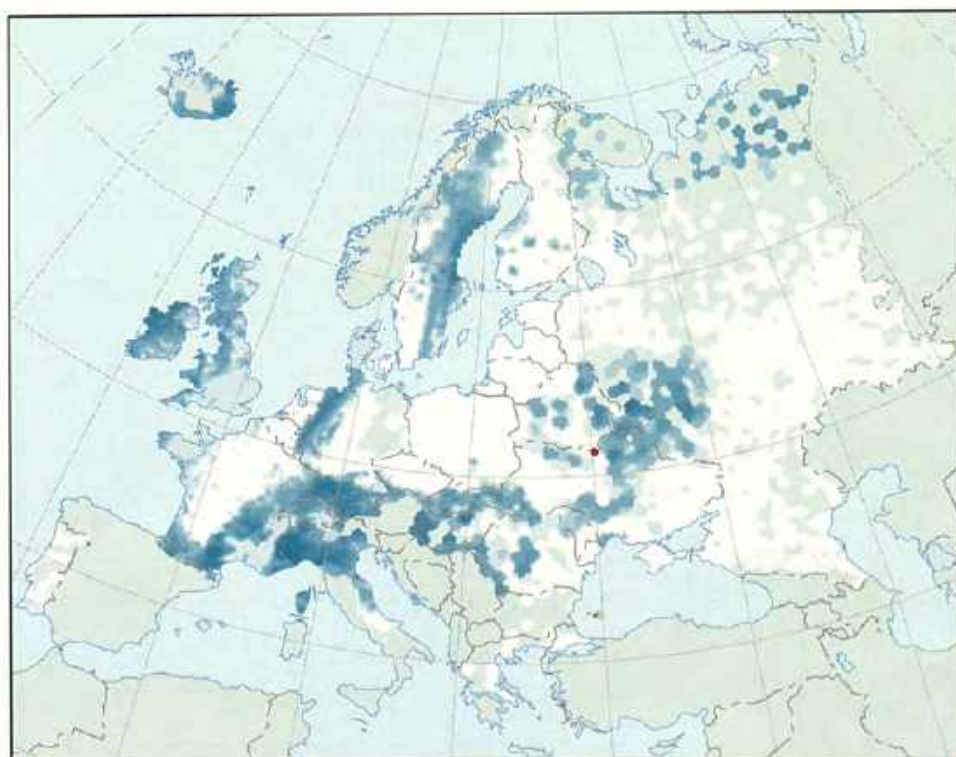
28 April 1986
28 апреля 1986



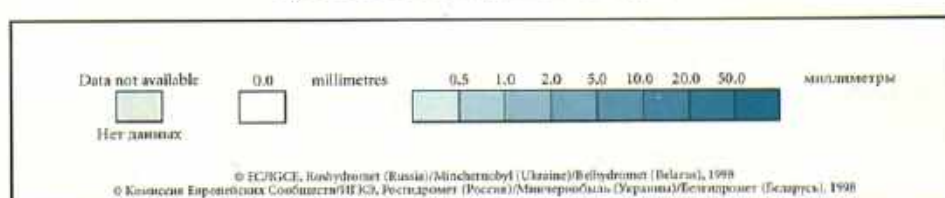
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



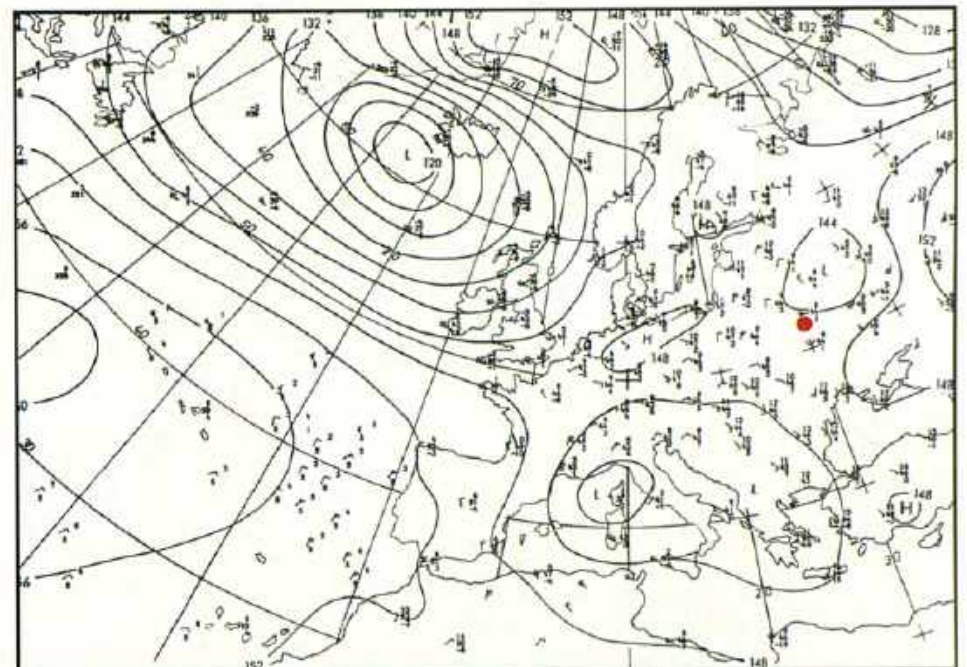
12 UTS - surface chart [A1]
12 UTS - изобарическая поверхность [A1]



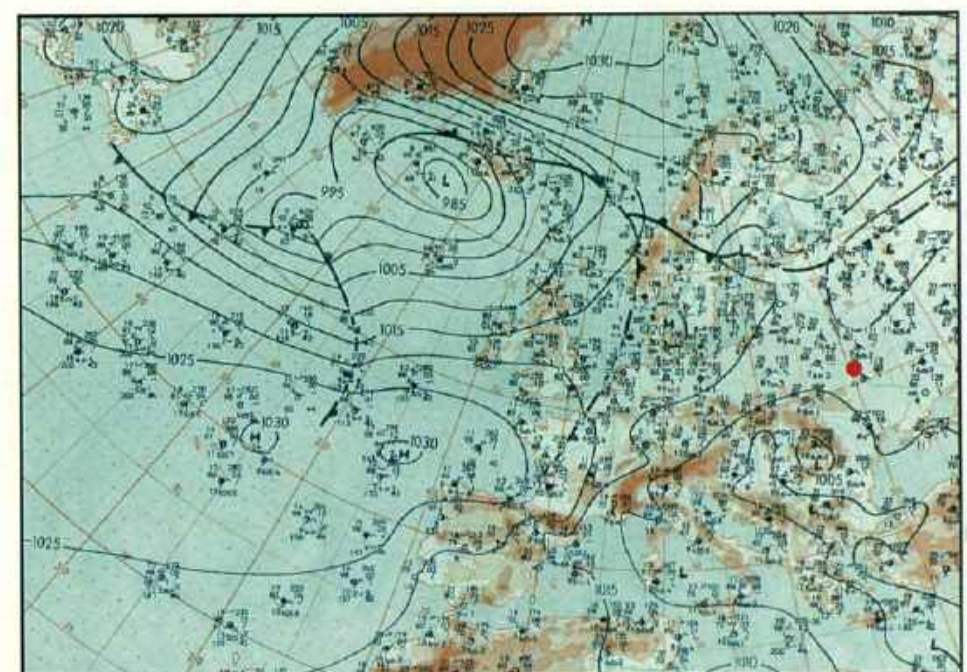
daily precipitation
суточное выпадение осадков



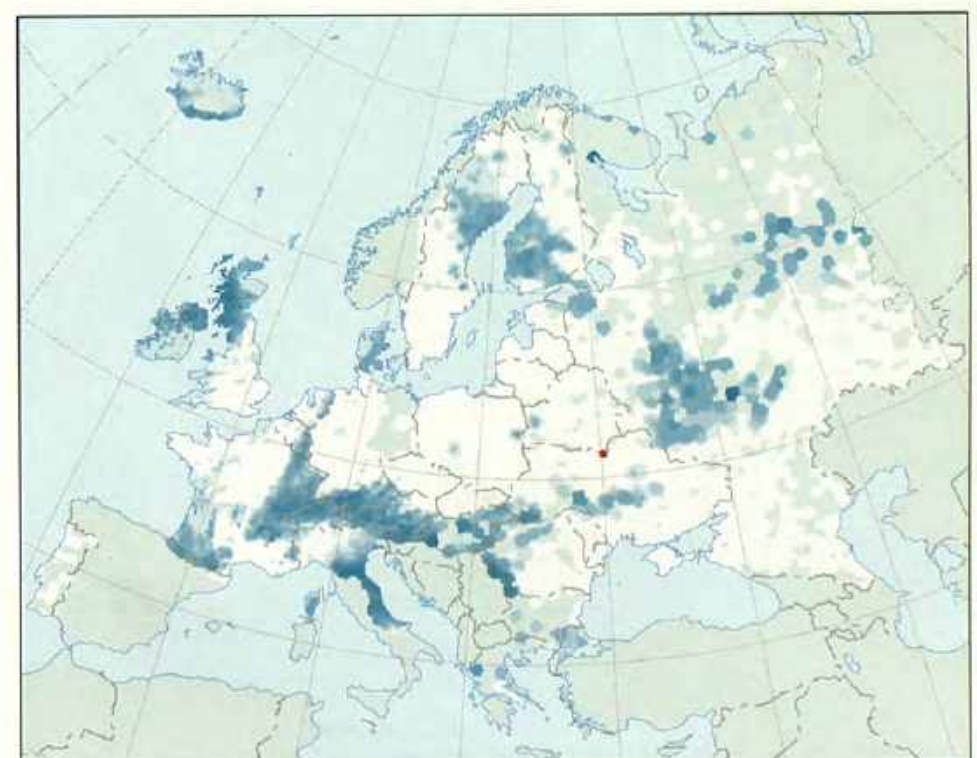
29 April 1986
29 апреля 1986



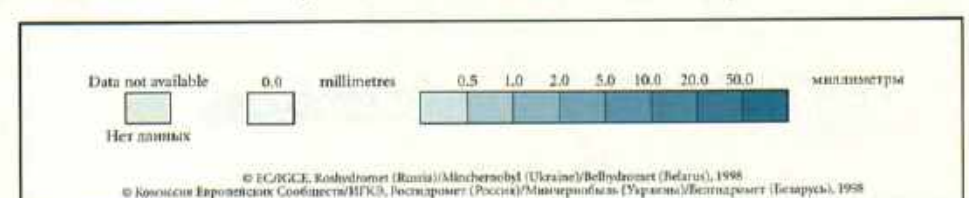
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



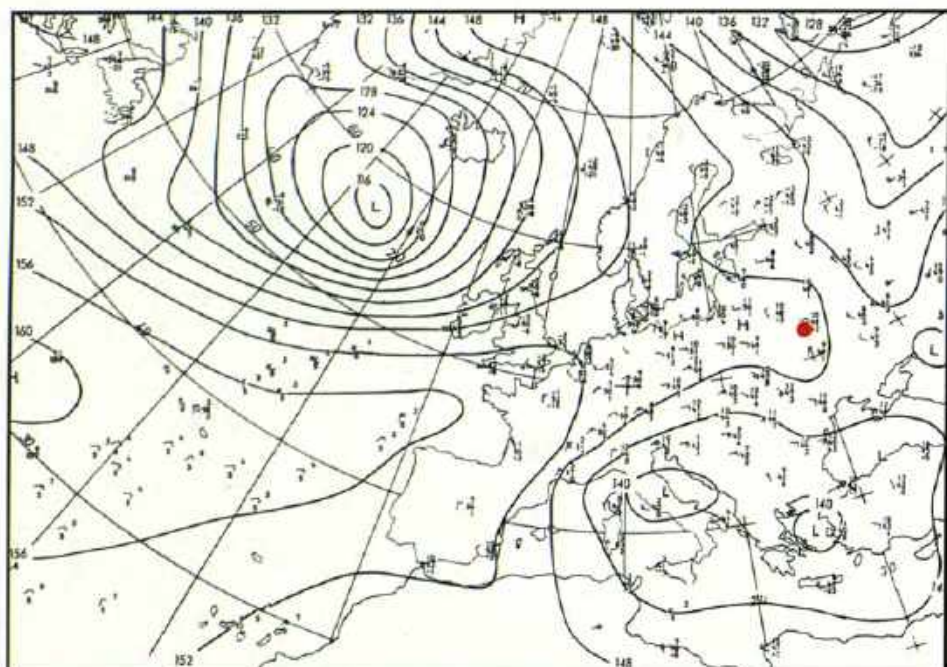
12 UTS - surface chart [A1]
12 UTS - изобарическая поверхность [A1]



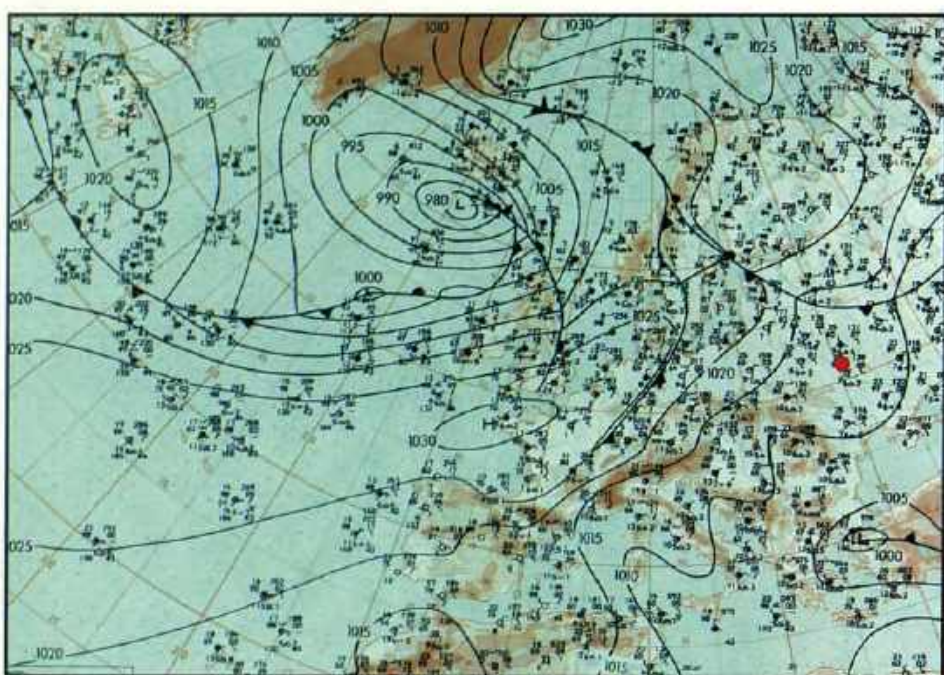
daily precipitation
суточное выпадение осадков



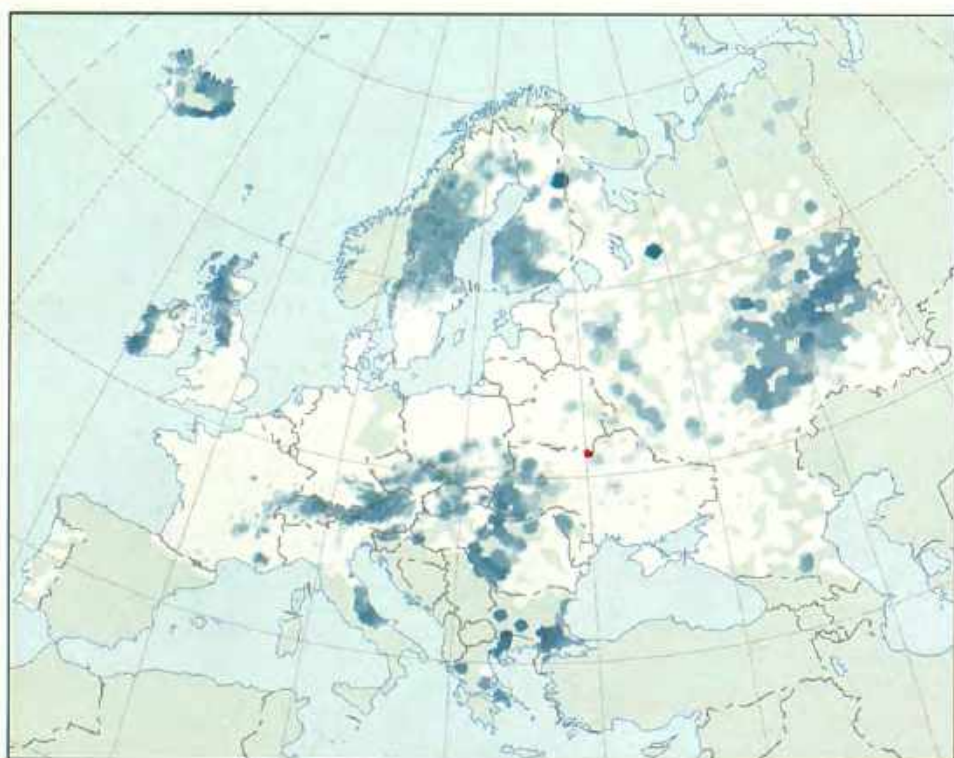
30 April 1986
30 апреля 1986



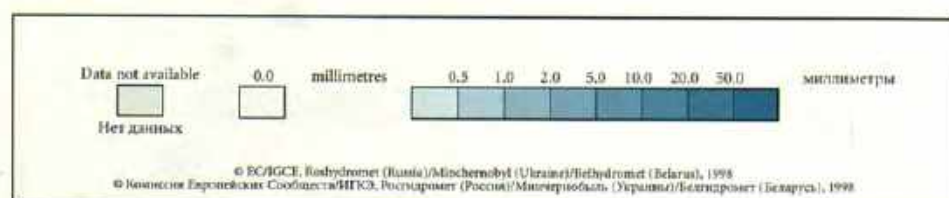
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



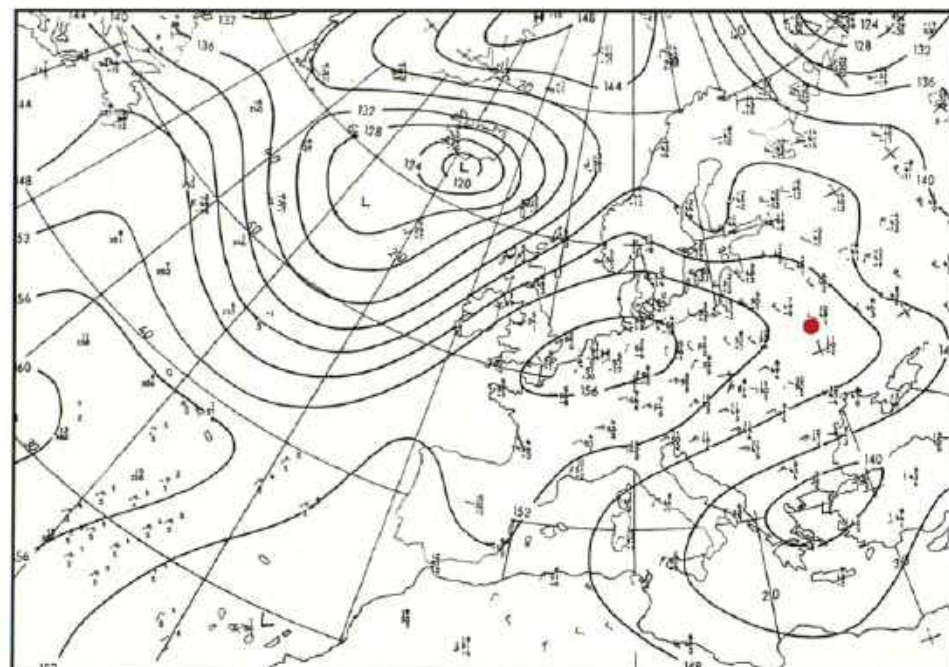
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



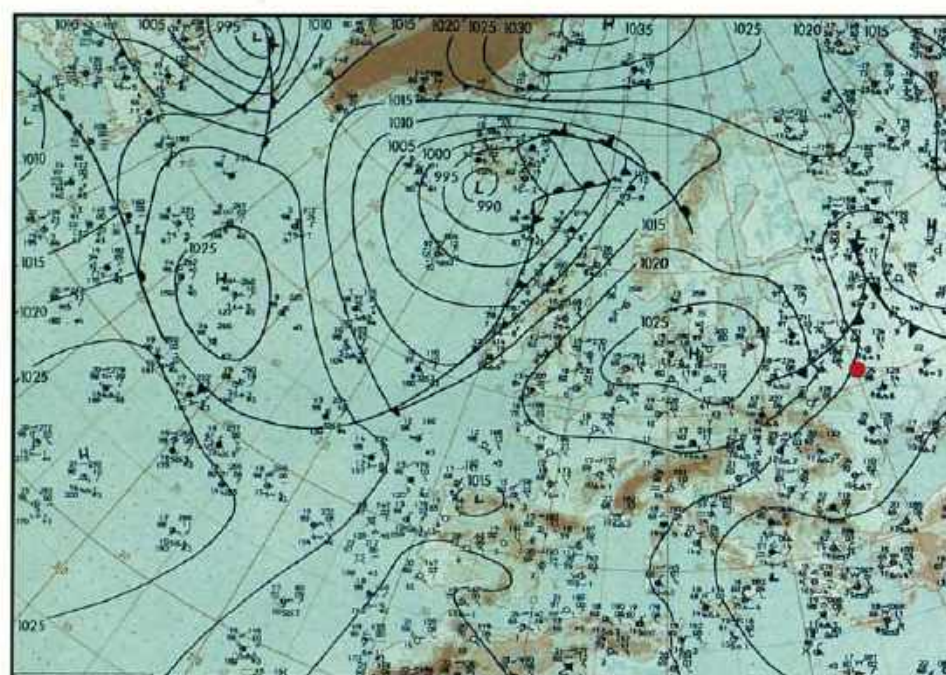
daily precipitation
суточное выпадение осадков



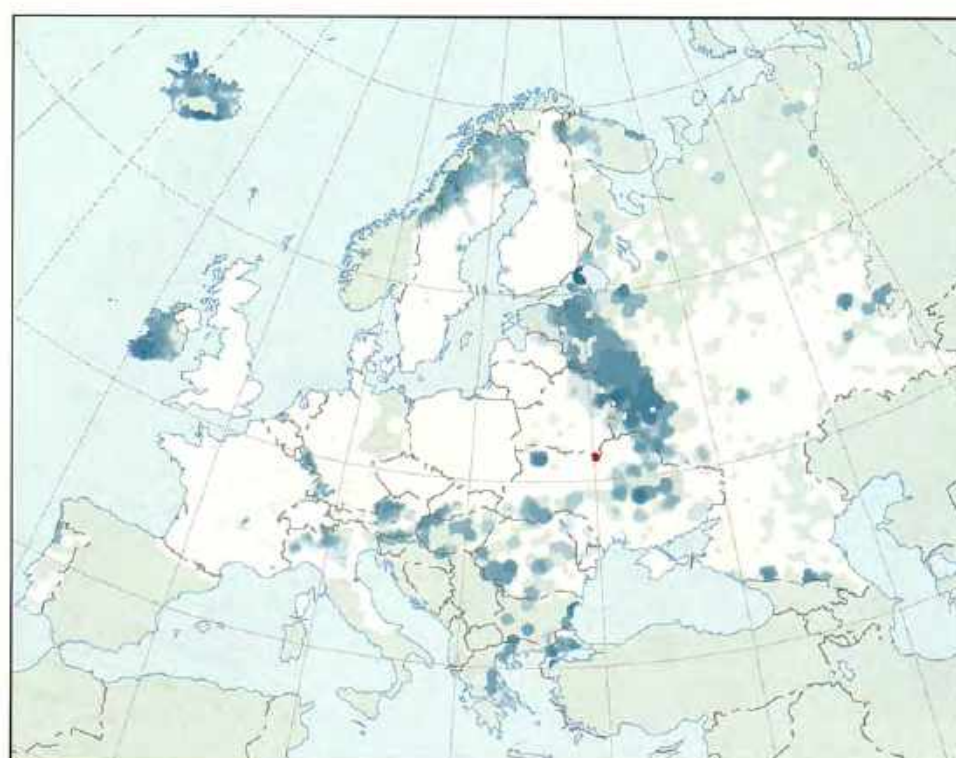
1 May 1986
1 мая 1986



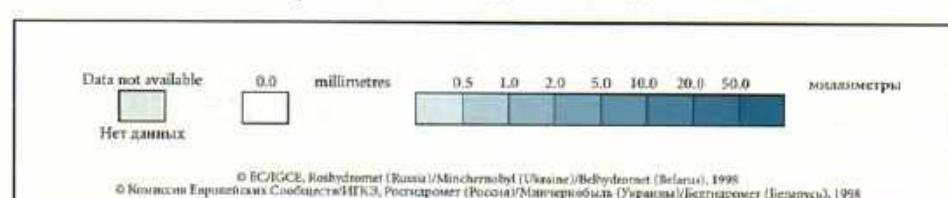
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



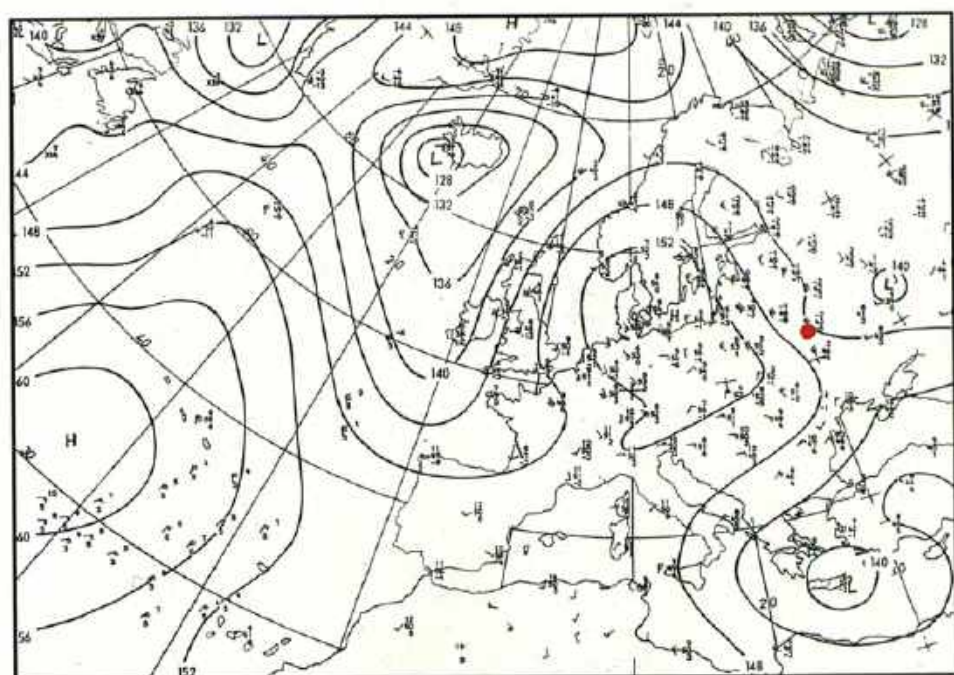
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



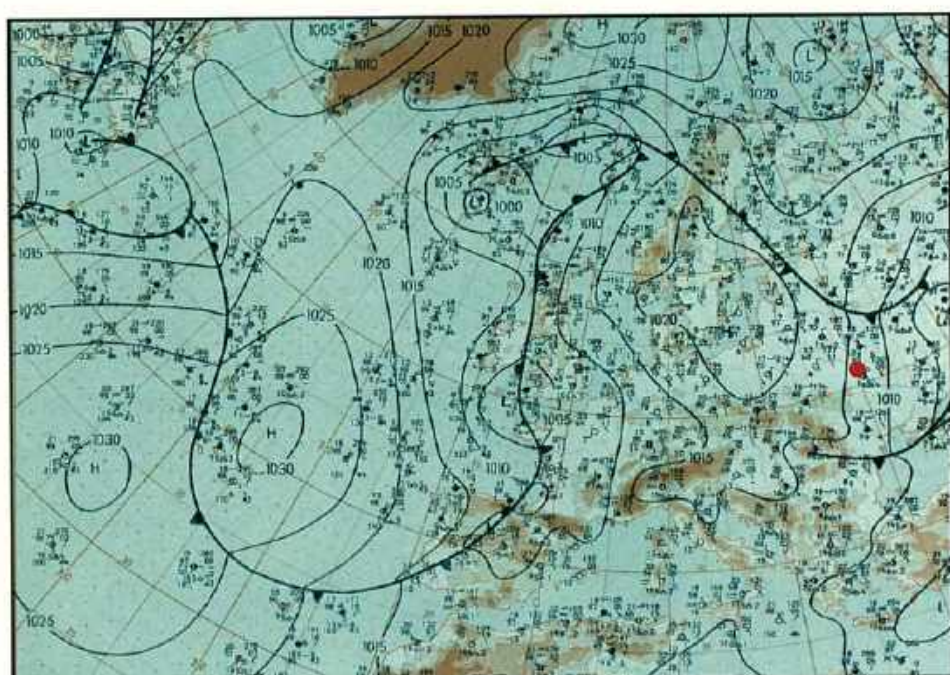
daily precipitation
суточное выпадение осадков



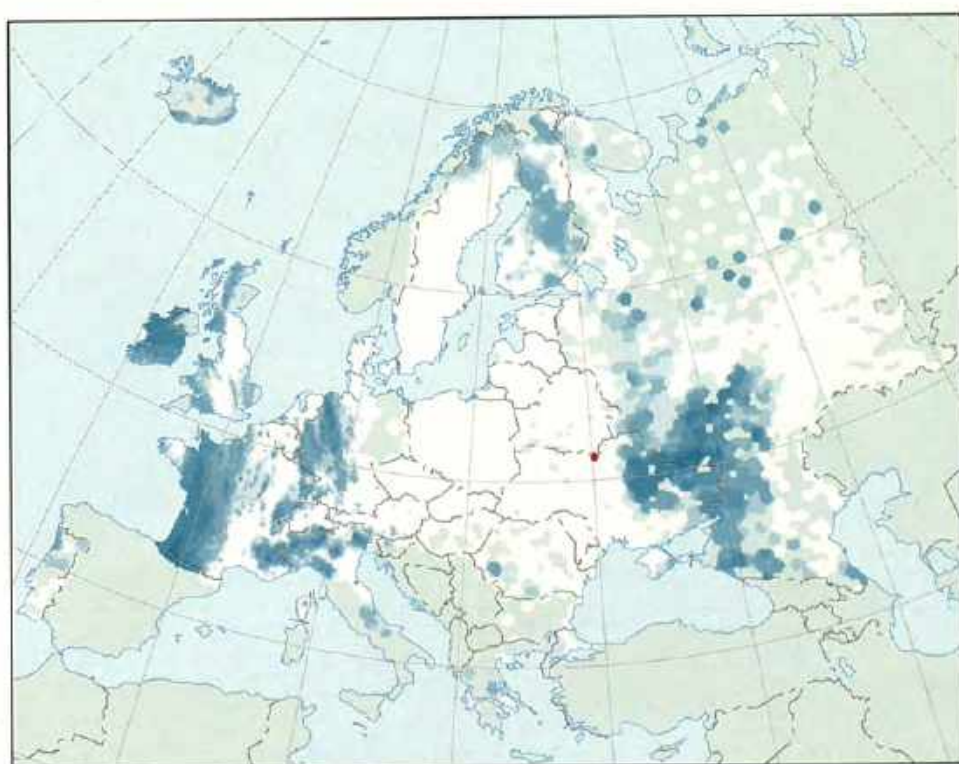
2 May 1986
2 мая 1986



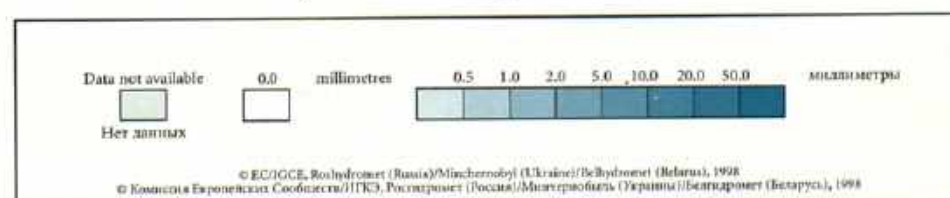
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



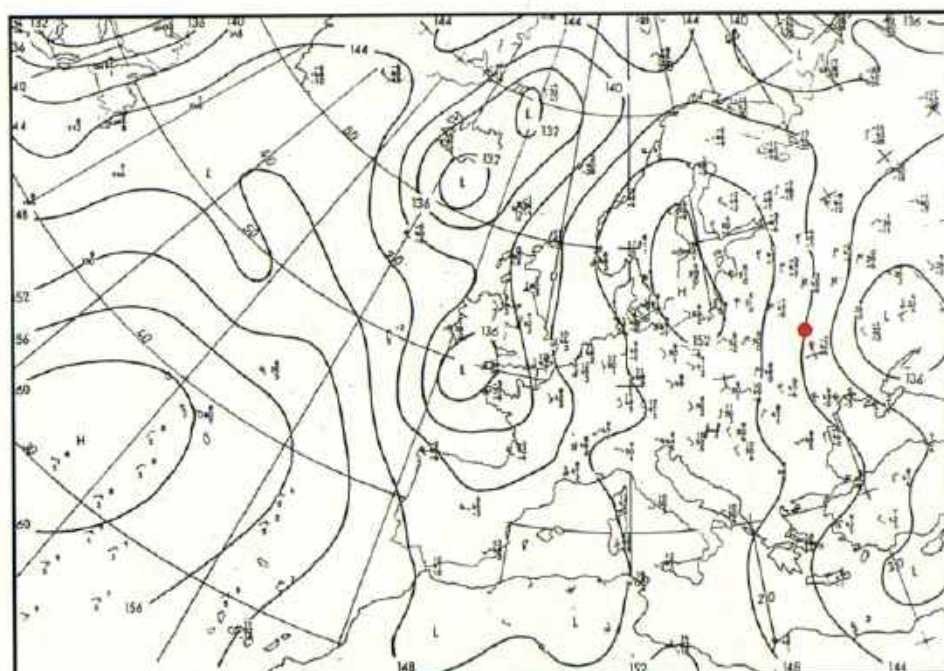
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



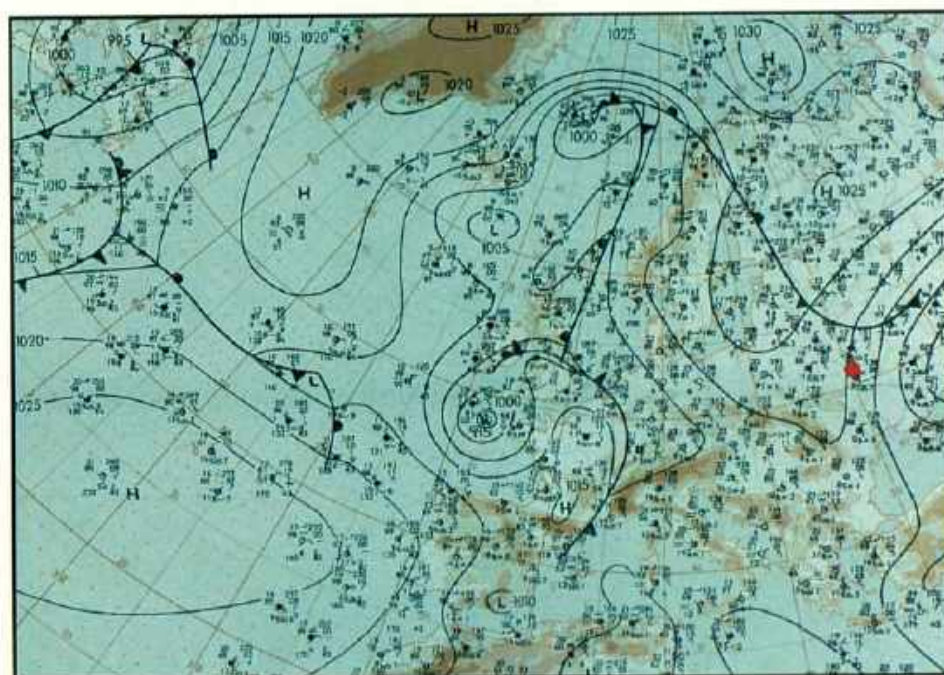
daily precipitation
суточное выпадение осадков



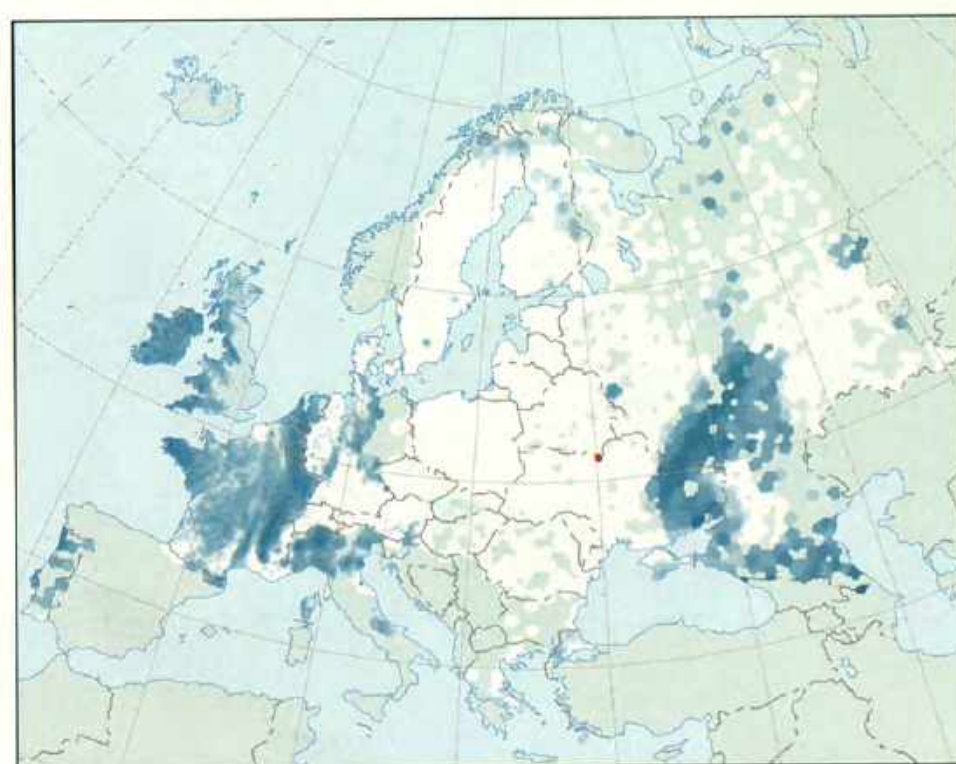
3 May 1986
3 мая 1986



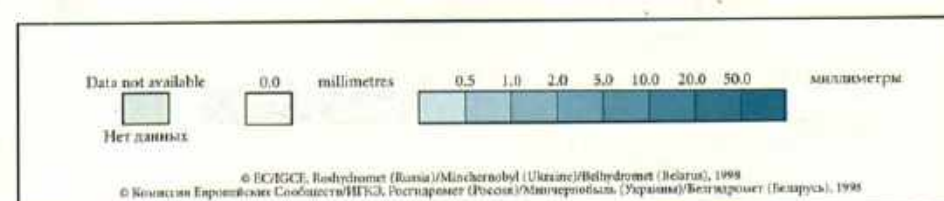
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



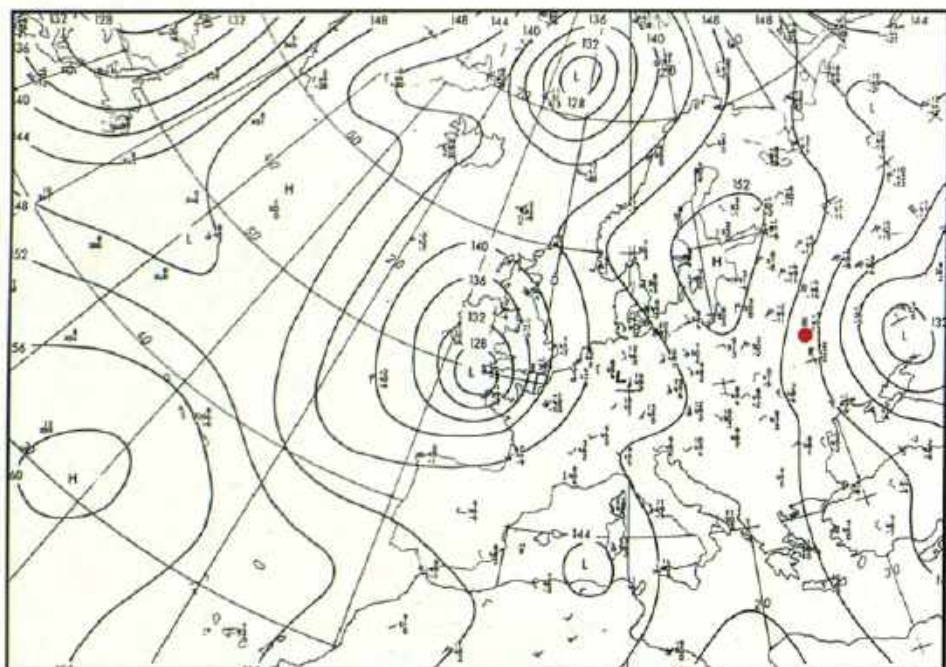
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



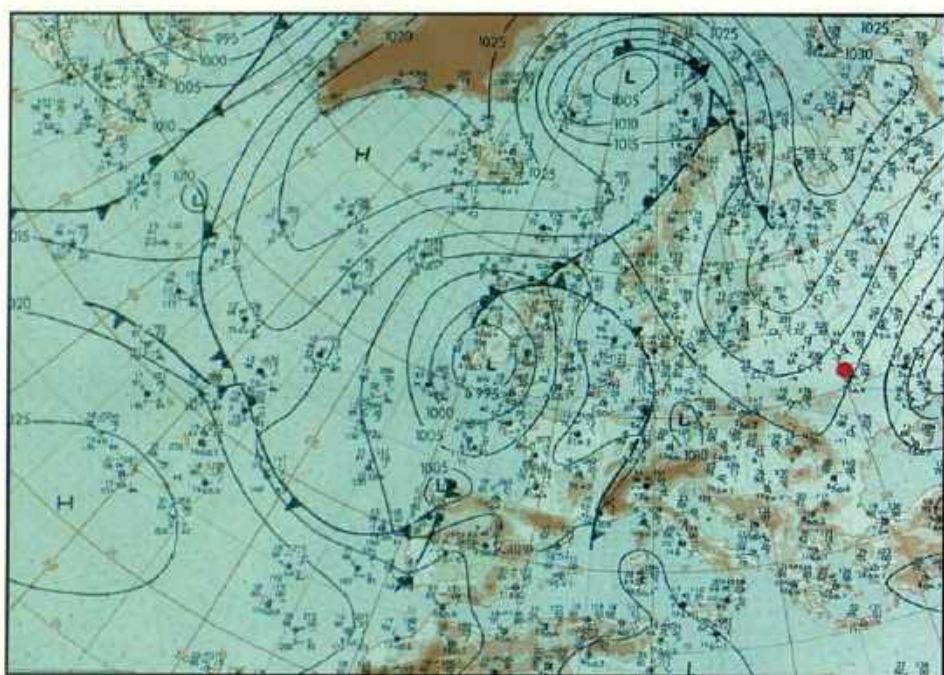
daily precipitation
суточное выпадение осадков



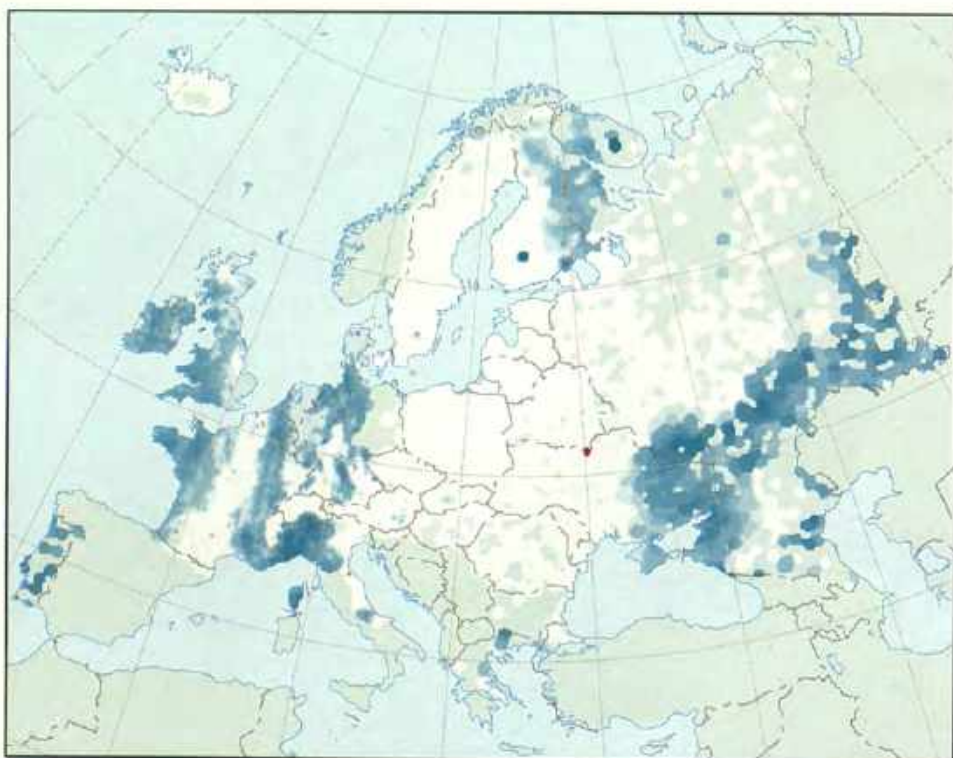
4 May 1986
4 мая 1986



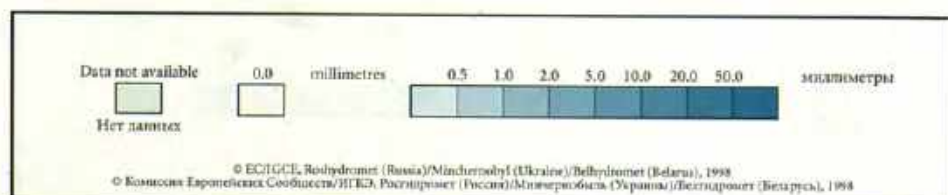
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



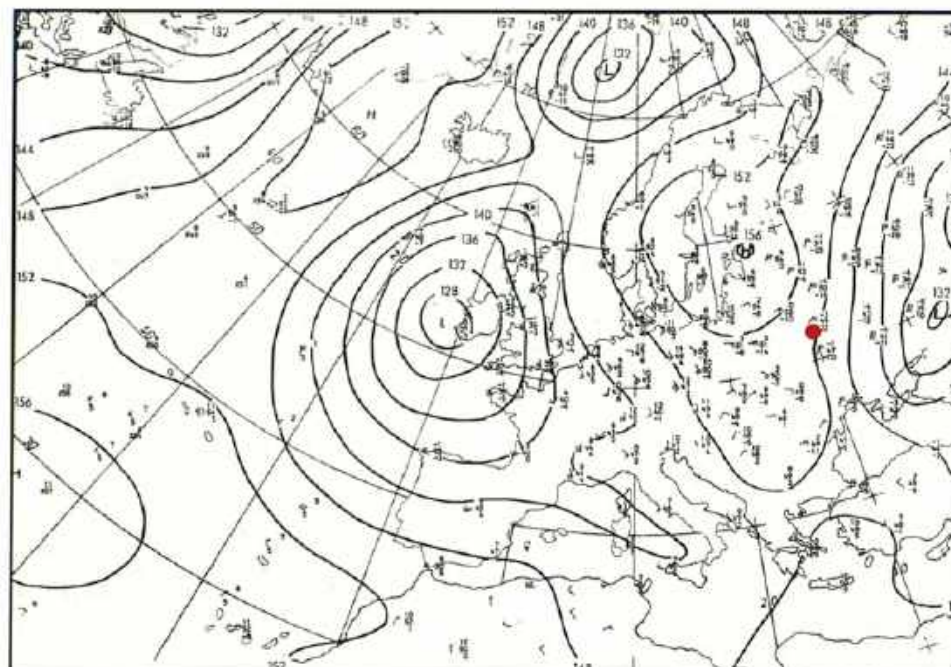
12 UTS - surface chart [A1]
12 UTS - изобарическая поверхность [A1]



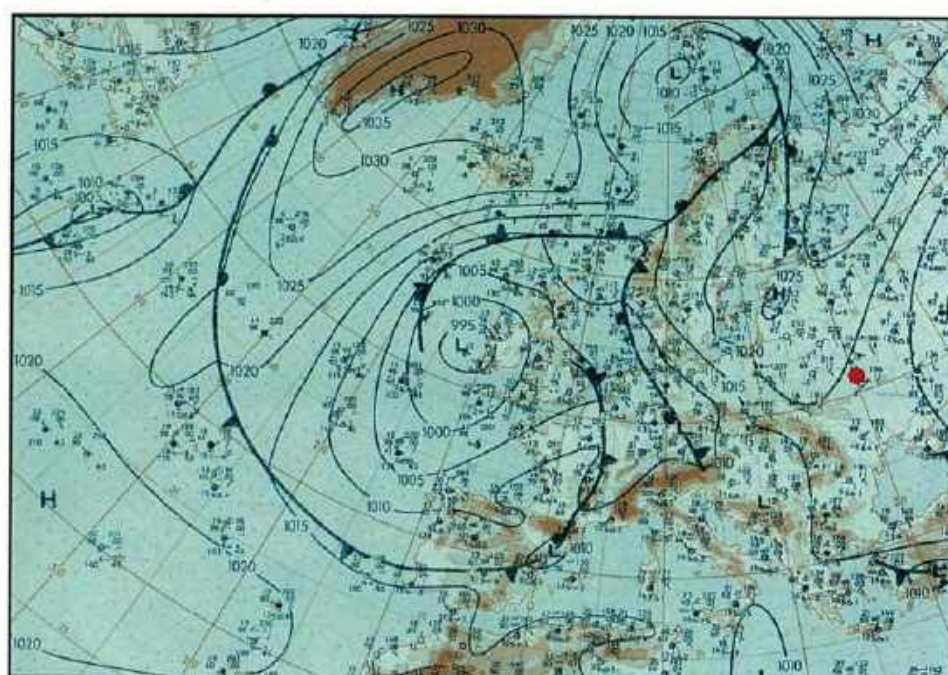
daily precipitation
суточное выпадение осадков



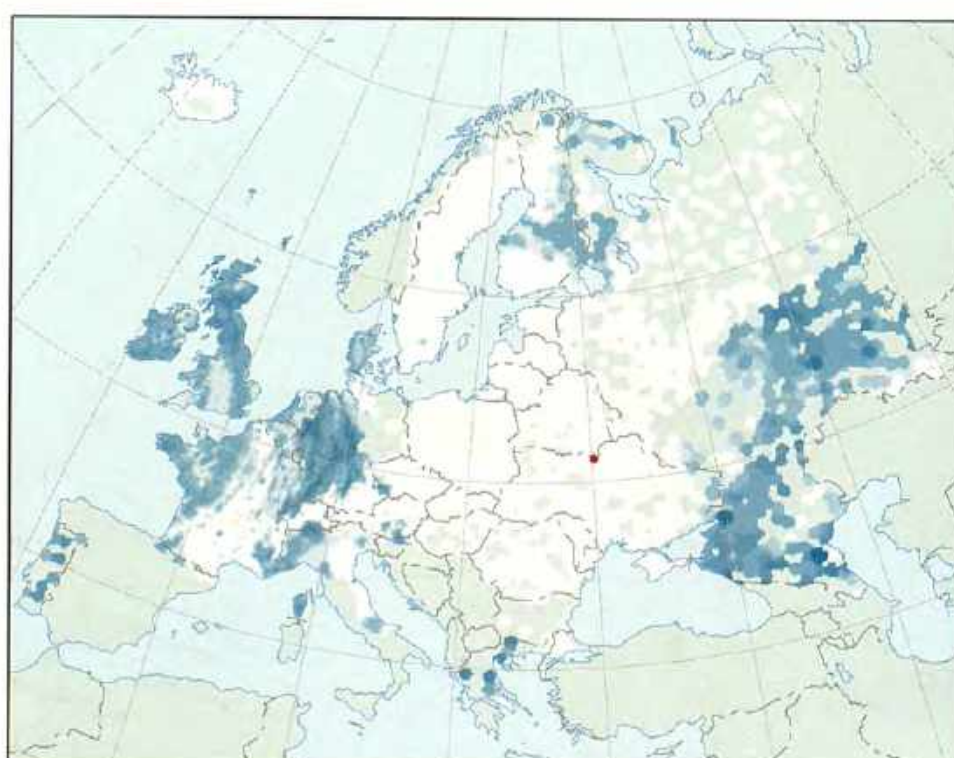
5 May 1986
5 мая 1986



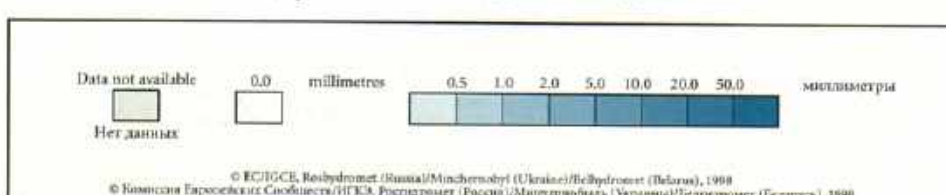
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



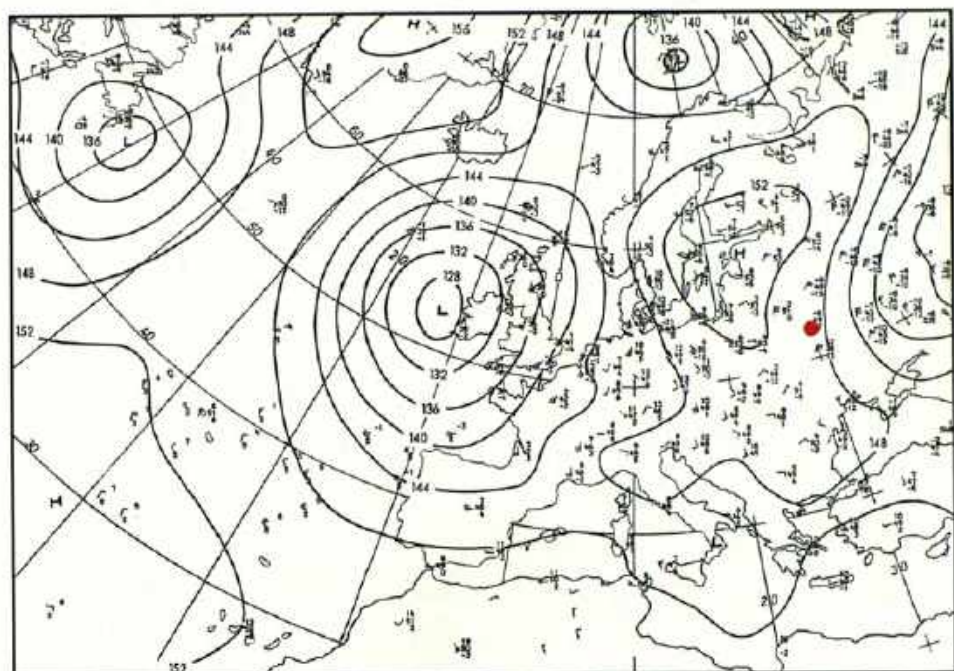
12 UTS - surface chart [A1]
12 UTS - изобарическая поверхность [A1]



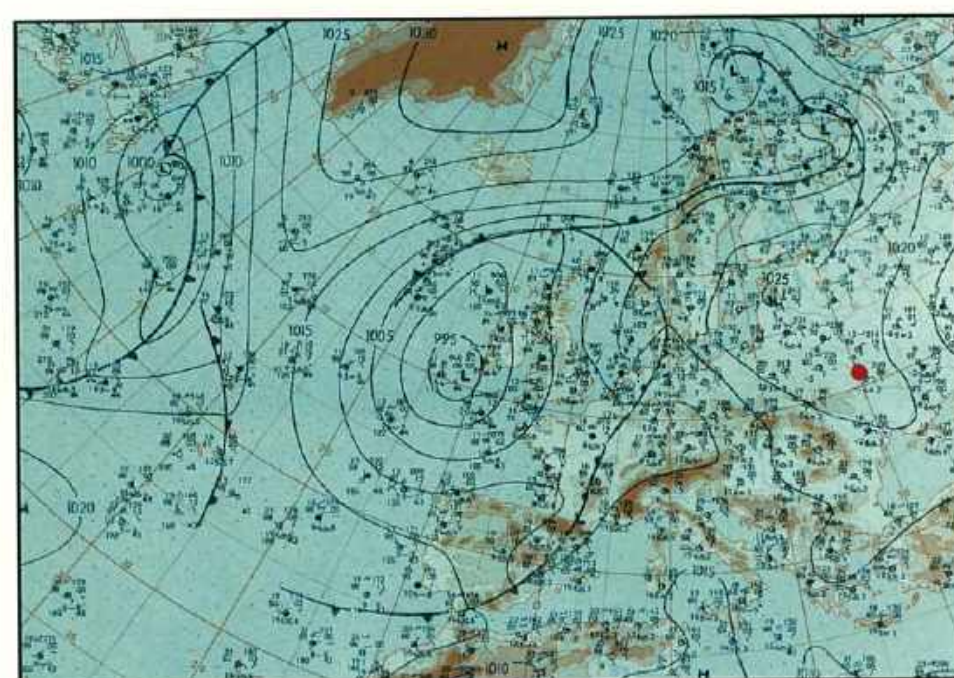
daily precipitation
суточное выпадение осадков



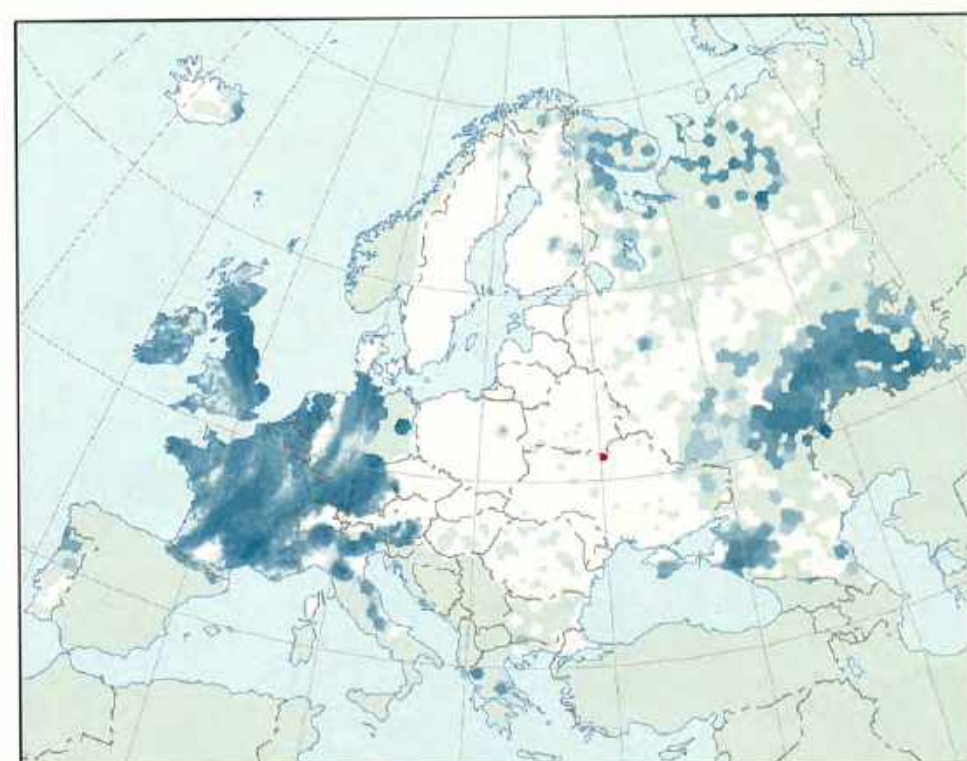
6 May 1986
6 мая 1986



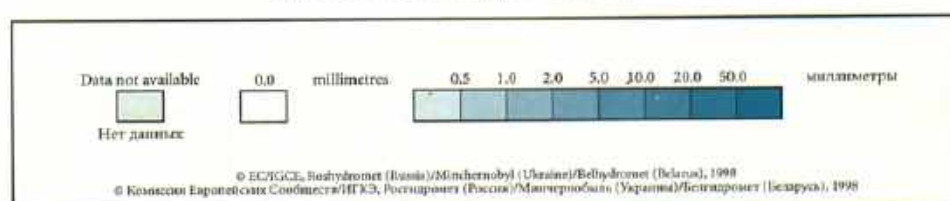
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



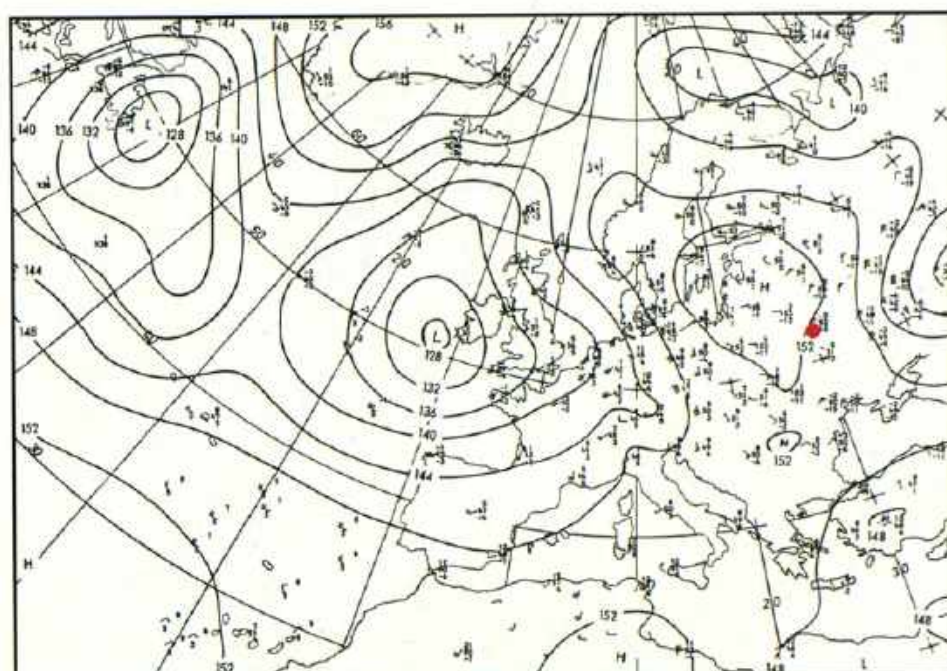
12 UTS - surface chart [A1]
12 UTS - изобарическая поверхность [A1]



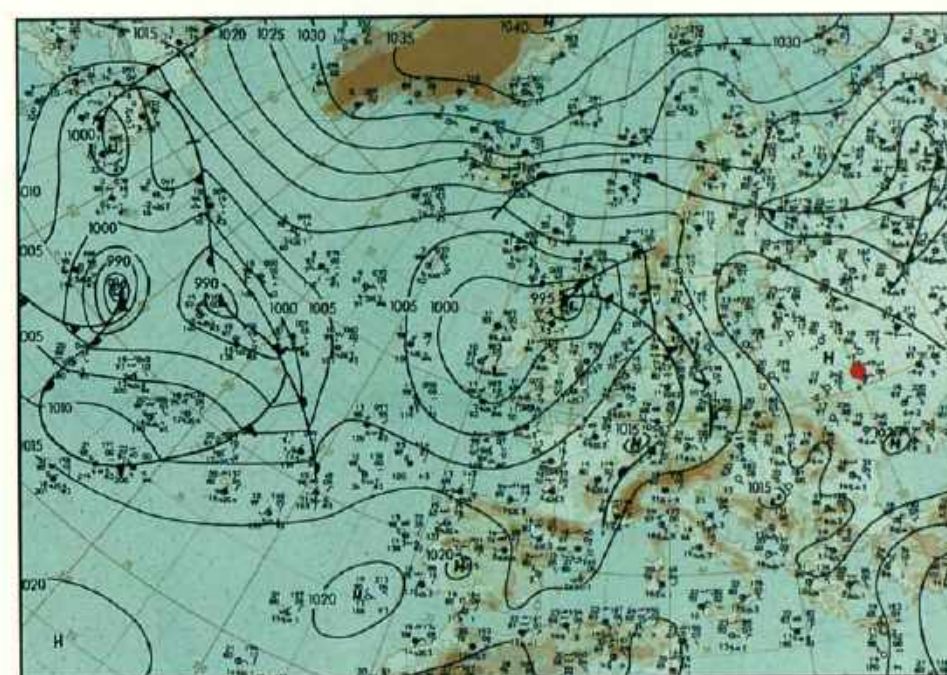
daily precipitation
суточное выпадение осадков



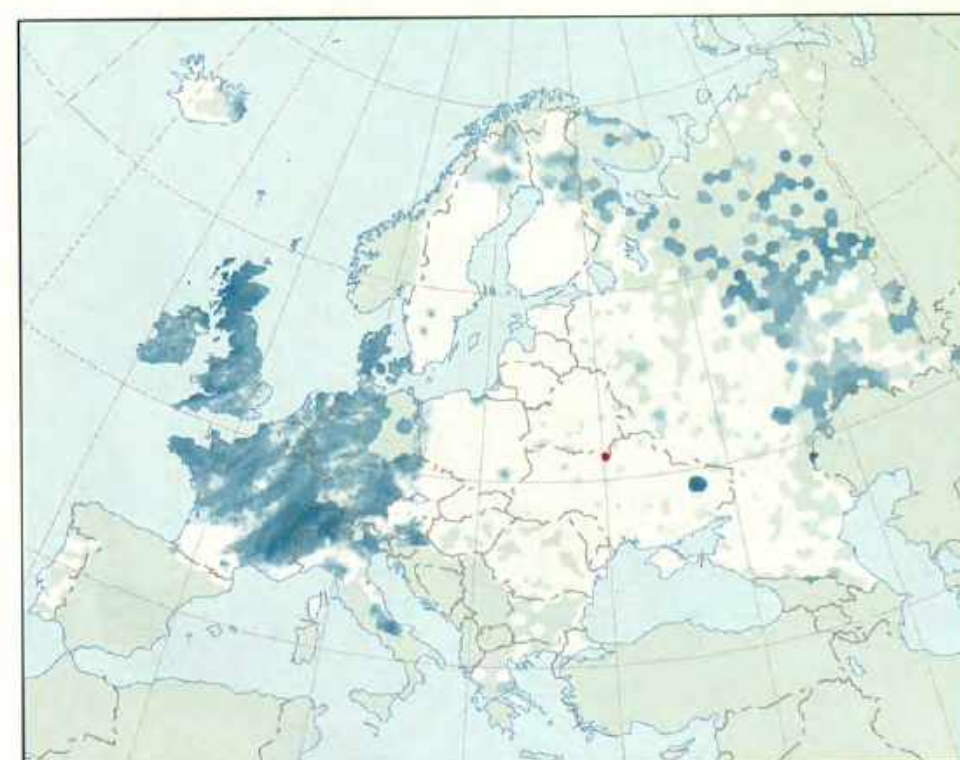
7 May 1986
7 мая 1986



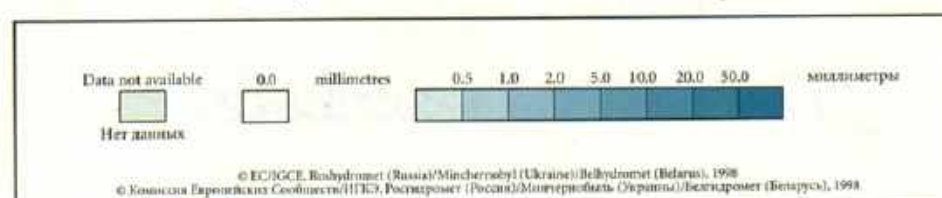
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



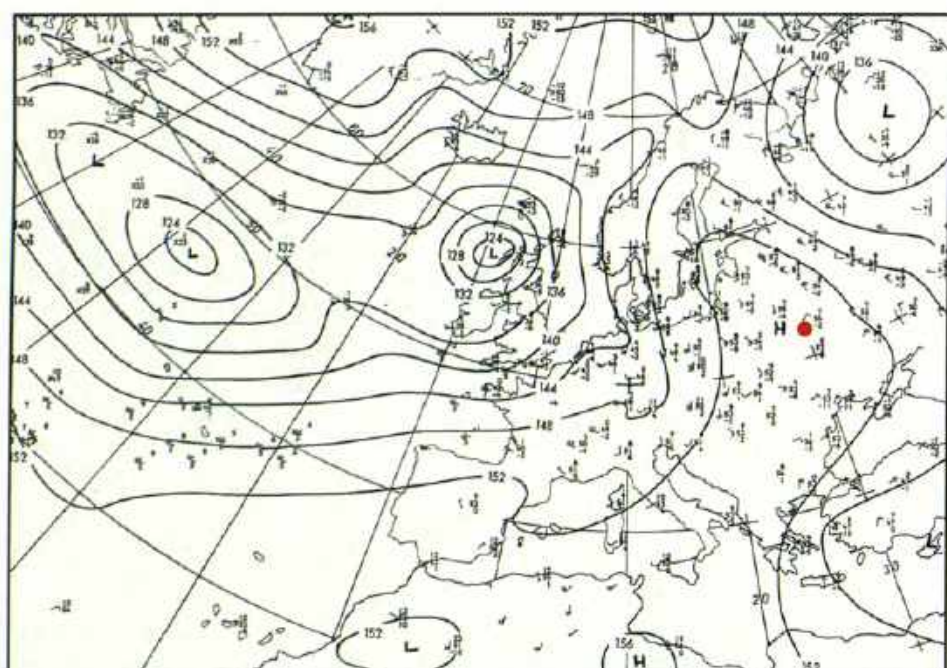
12 UTS - surface chart [A1]
12 UTS - изобарическая поверхность [A1]



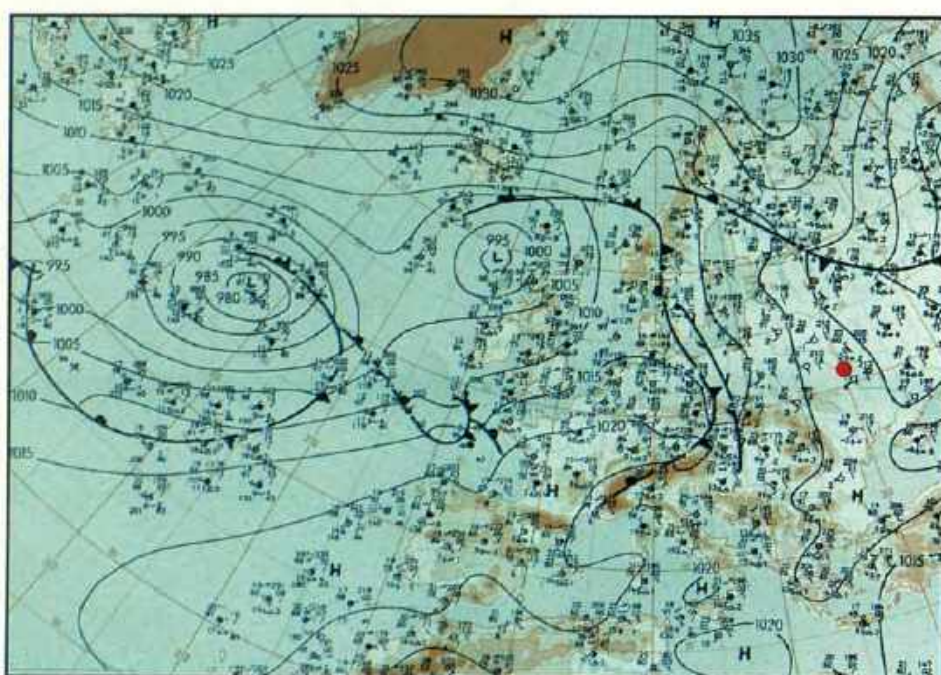
daily precipitation
суточное выпадение осадков



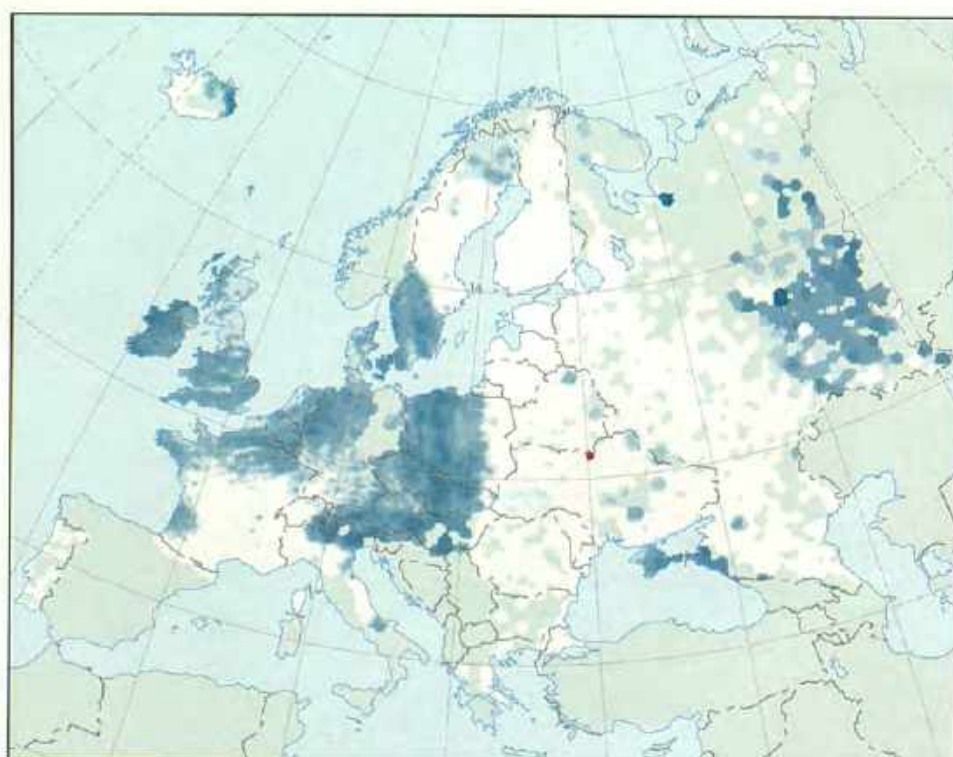
8 May 1986
8 мая 1986



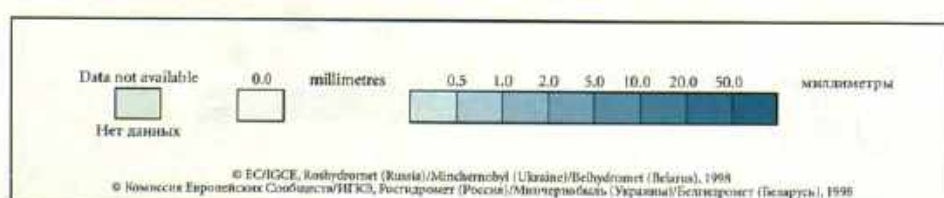
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



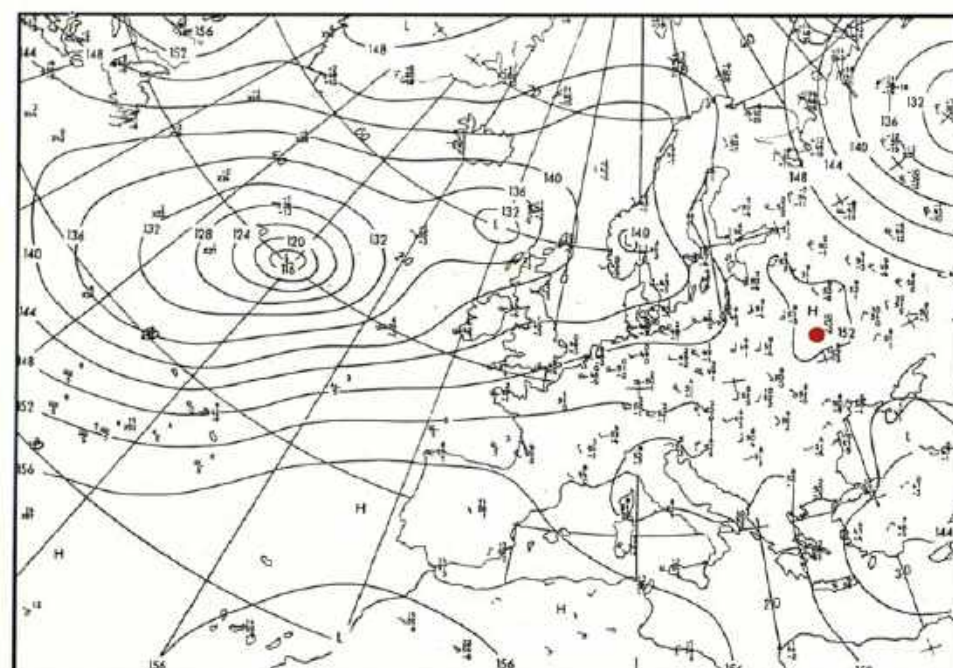
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



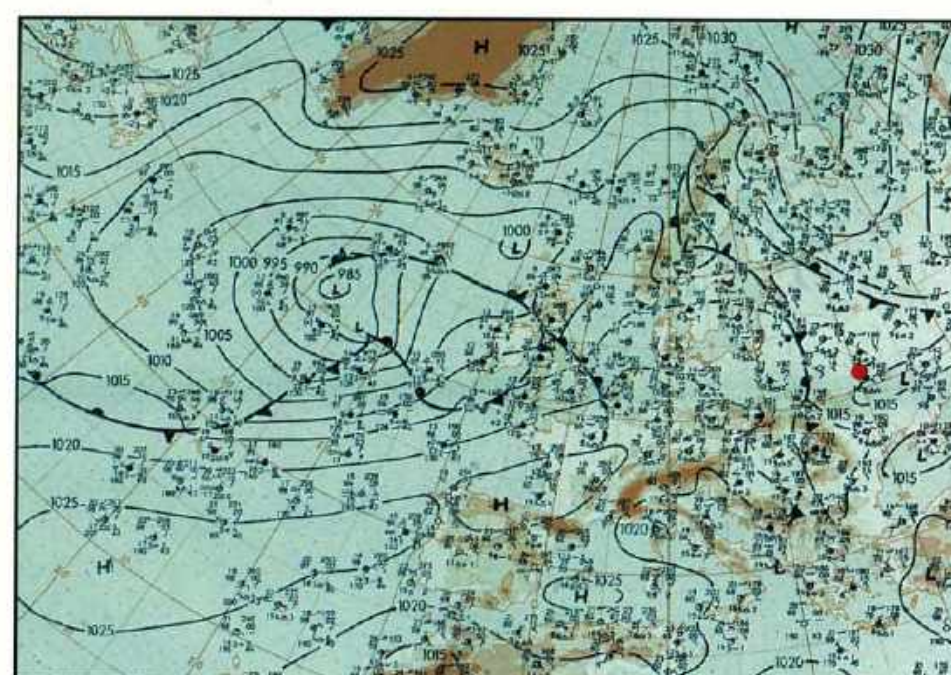
daily precipitation
суточное выпадение осадков



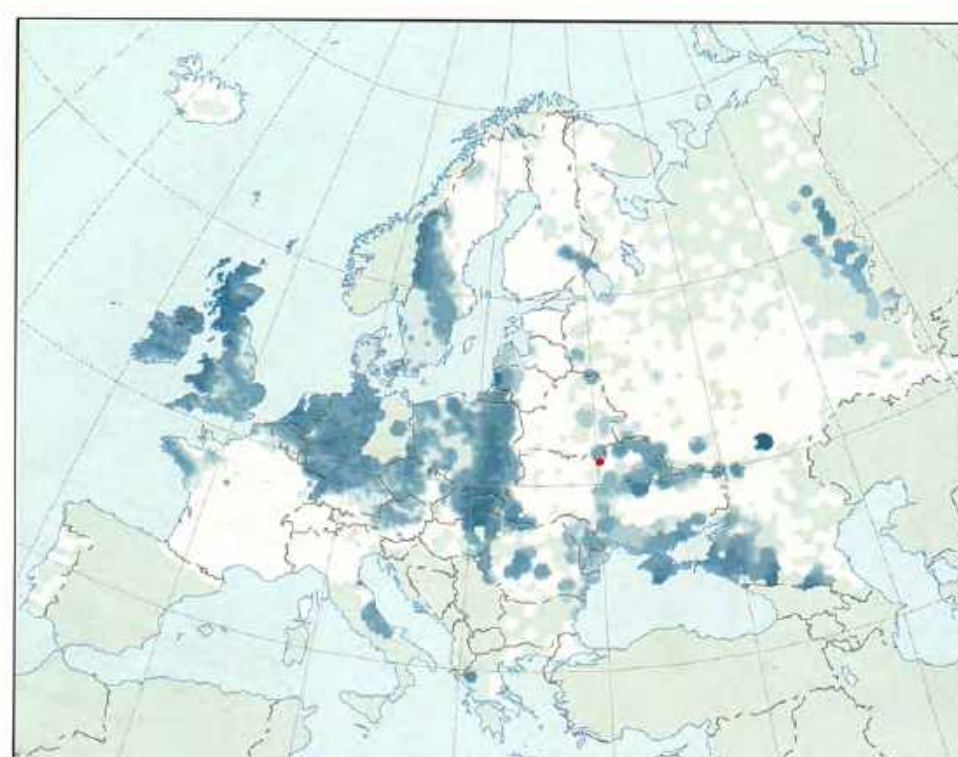
9 May 1986
9 мая 1986



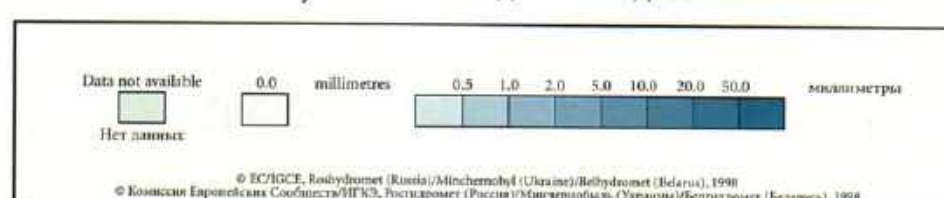
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



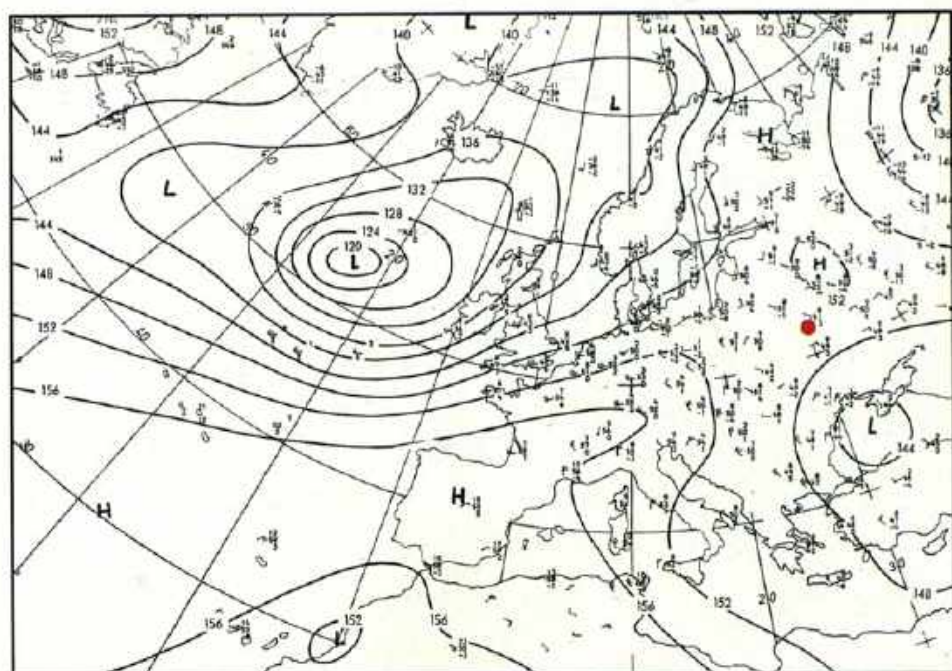
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



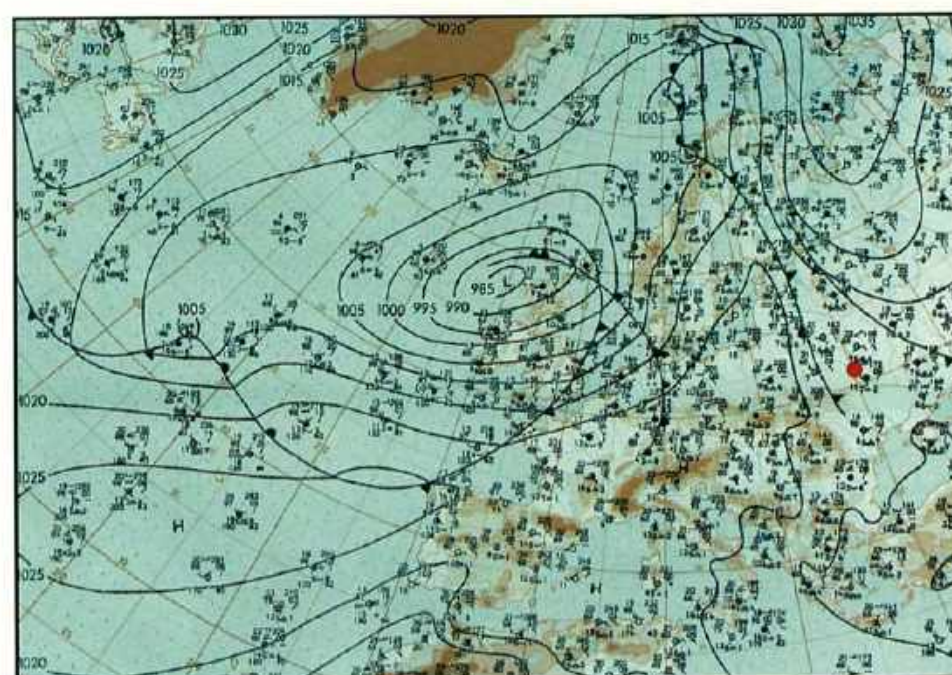
daily precipitation
суточное выпадение осадков



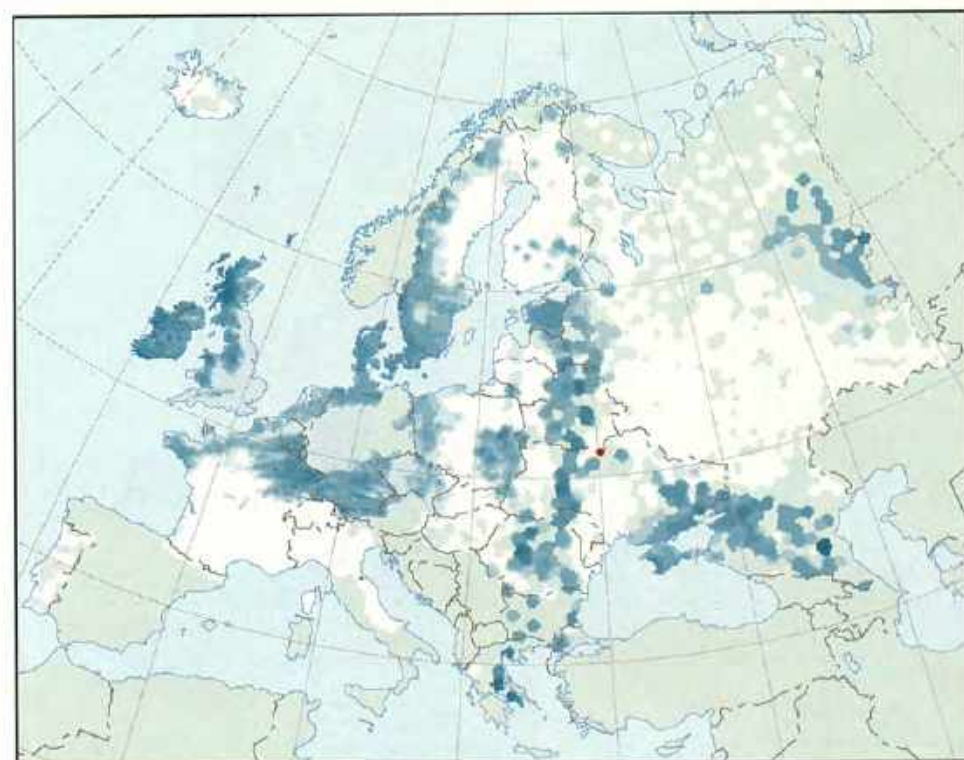
10 May 1986
10 мая 1986



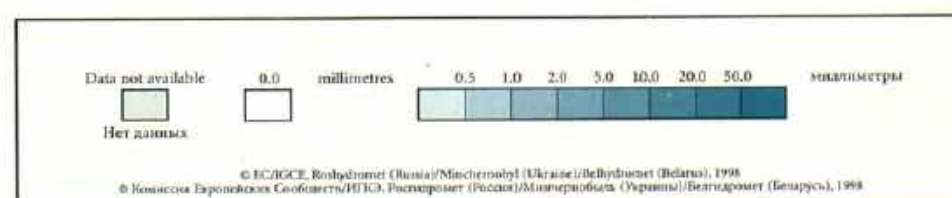
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]



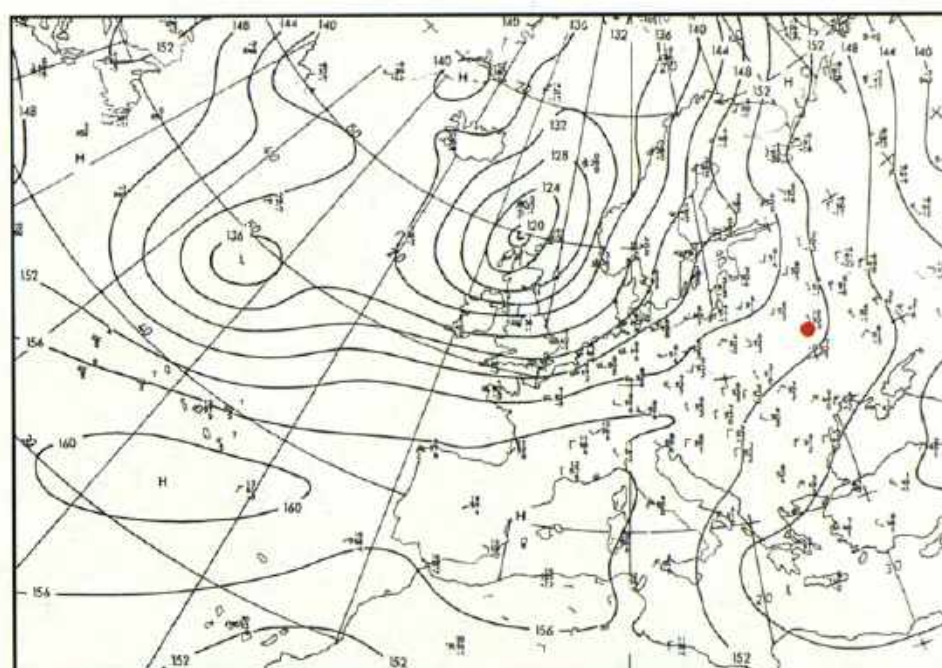
12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



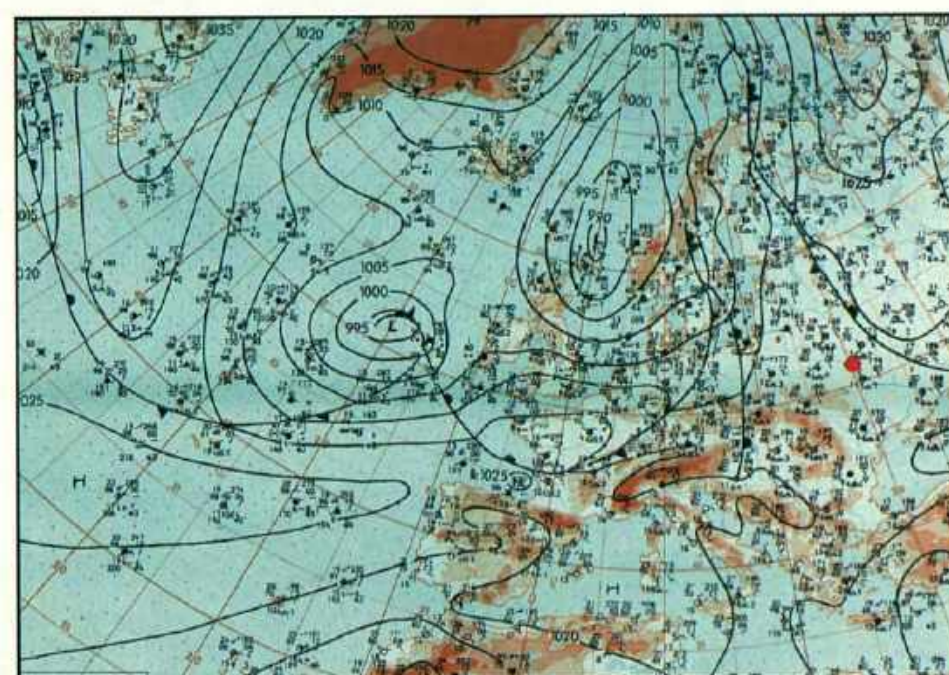
daily precipitation
суточное выпадение осадков



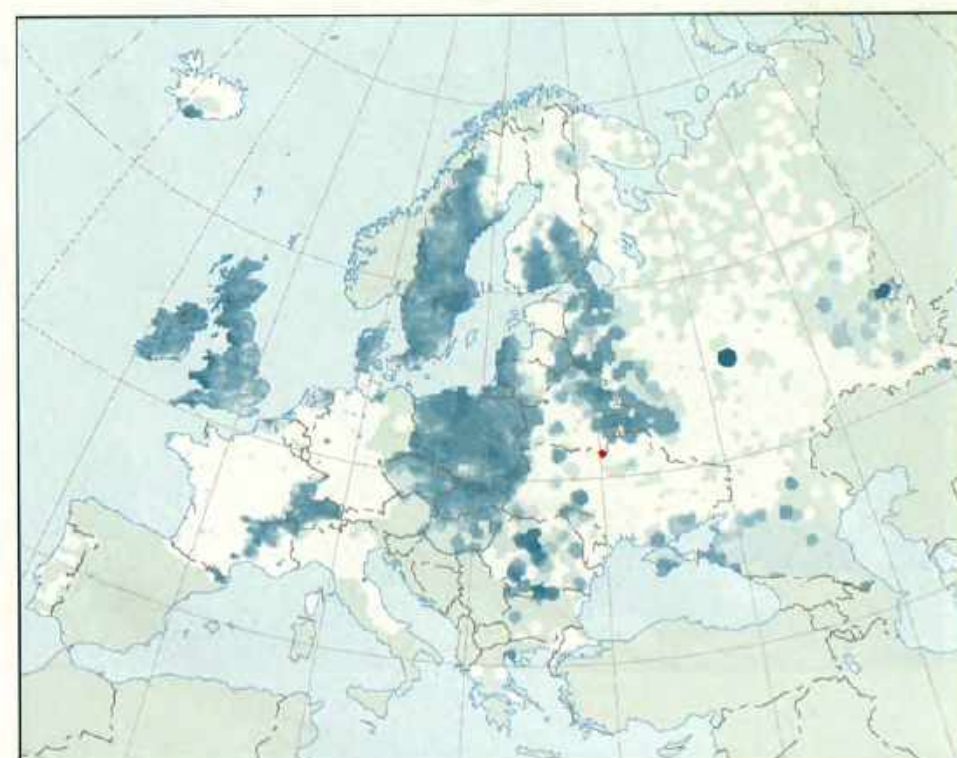
11 May 1986
11 мая 1986



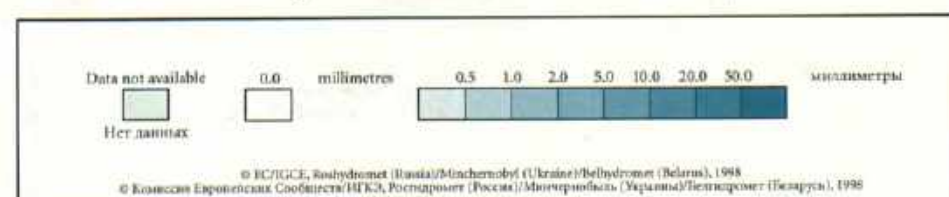
0 UTC - 850 hPa pressure map [A1]
0 UTC - 850 hPa карта давления [A1]

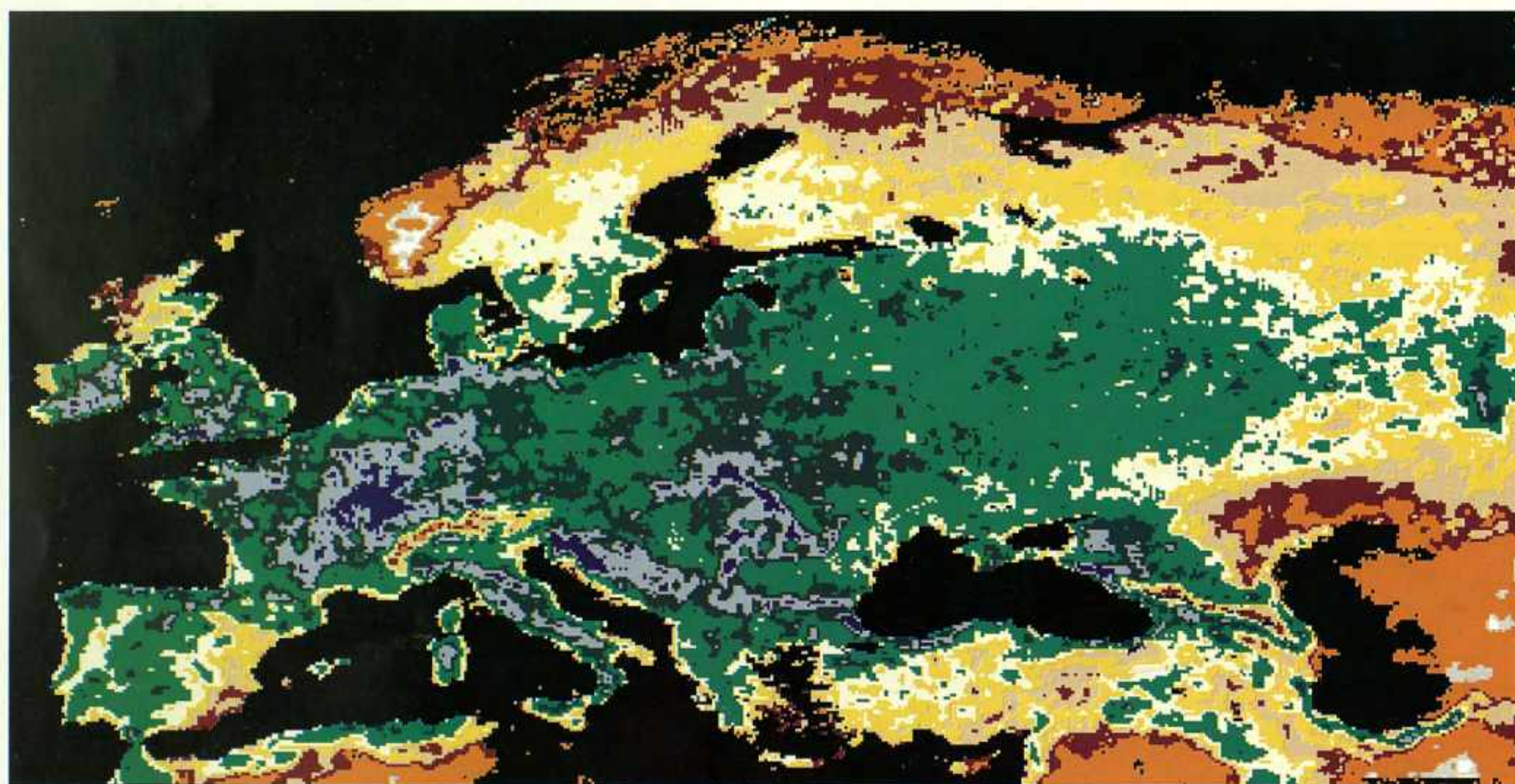
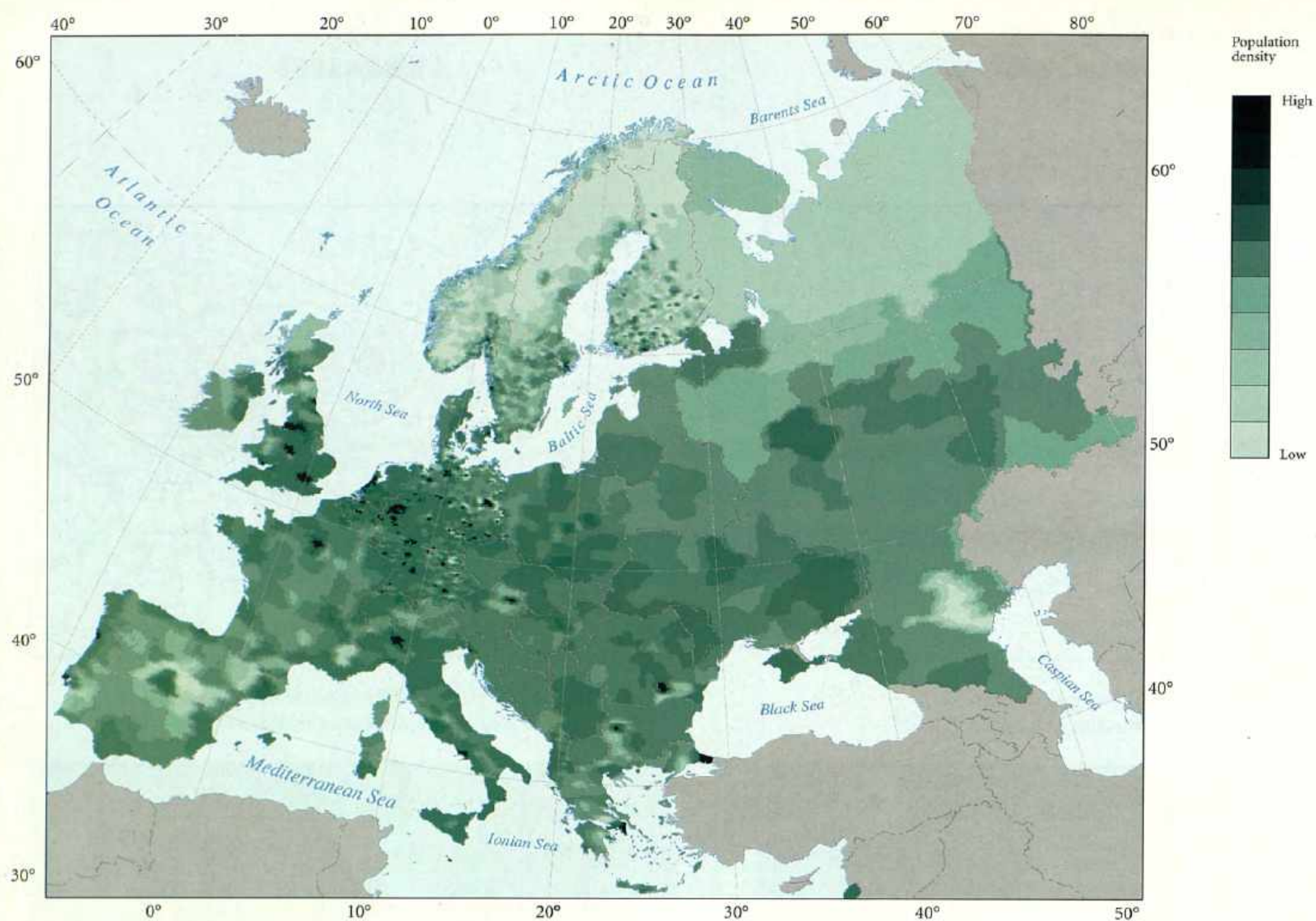


12 UTC - surface chart [A1]
12 UTC - изобарическая поверхность [A1]



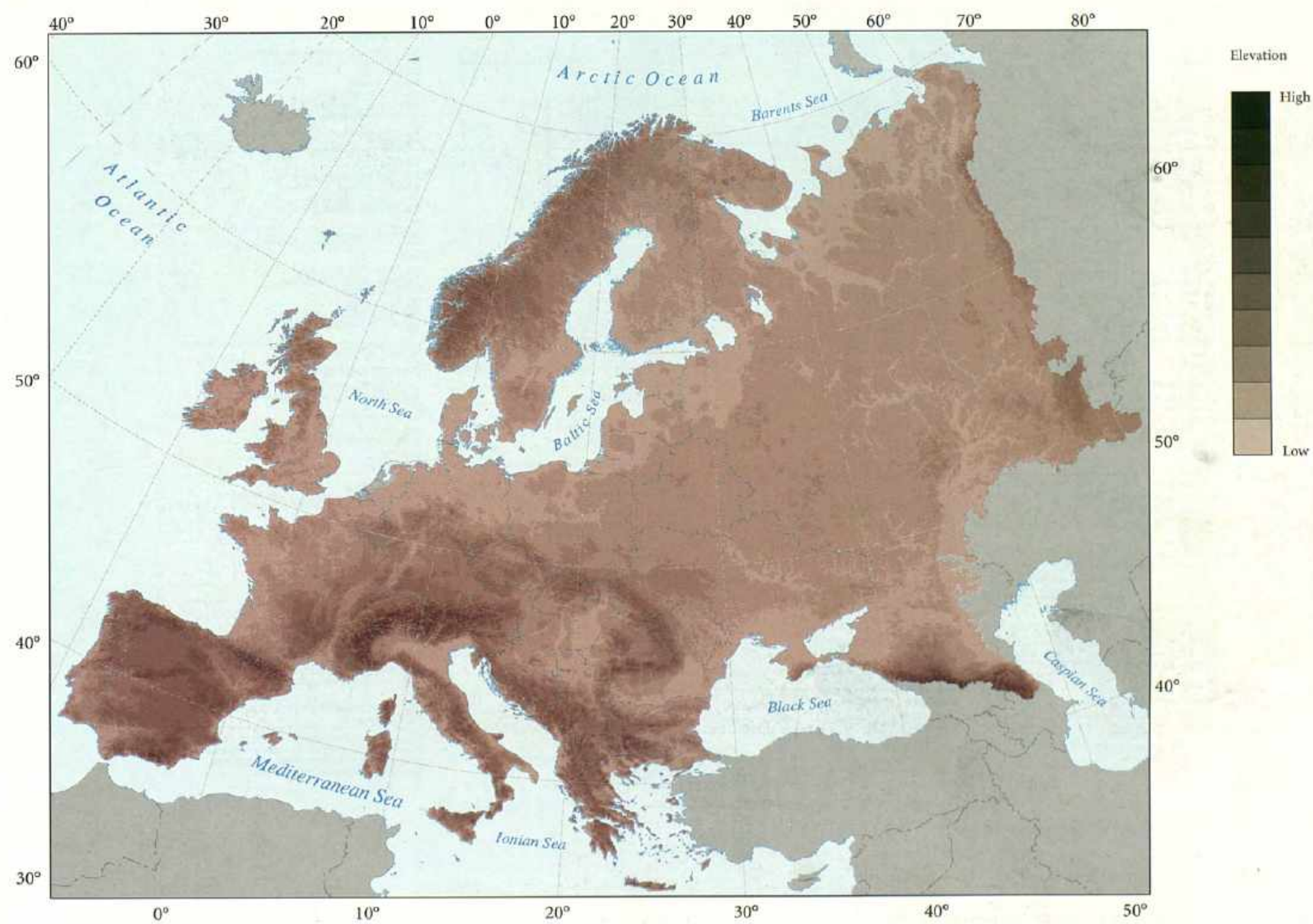
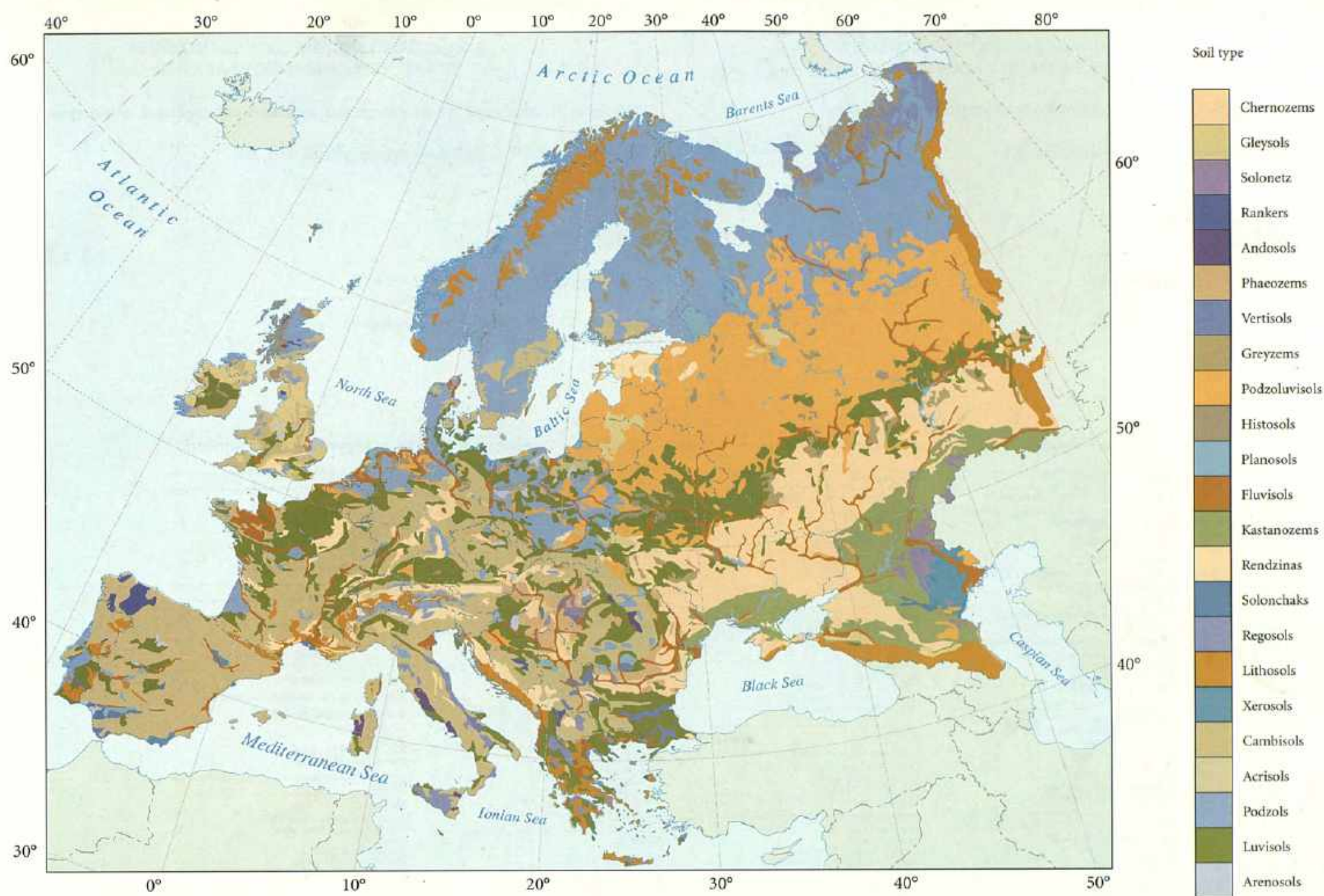
daily precipitation
суточное выпадение осадков





Monthly composite of normalised difference vegetation index: May 1986
 Месячная составляющая при нормализованной разнице показатель растительности: май 1986





ATLAS OF CAESIUM DEPOSITION ON EUROPE
AFTER THE CHERNOBYL ACCIDENTАТЛАС ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЕВРОПЫ ЦЕЗИЕМ
ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ

Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities

Люксембургское бюро для официальных изданий европейских сообществ

Luxembourg 1998, European Commission, 176, A3

Люксембург 1998 г., Европейская комиссия, 176, А3

EN, RU

EN, RU

ISBN 92-828-3140-X

ISBN 92-828-3140-X

Catalogue number CG-NA-16-733-29-C

Цифра каталога CG-NA-16-733-29-C

Price (excluding VAT) in Luxembourg

Цена (исключая НДС в Люксембурге)

ECU 100

ECU 100

Venta • Salg • Verkauf • Πωλήσεις • Sales • Vente • Vendita • Verkoop • Venda • Myynti • Försäljning

BELGIQUE/BELGIË

Moniteur belge/Belgisch Staatsblad
Rue de Louvain 40-42/Louvainsaweg 40-42
B-1000 Bruxelles/Brussel
Tél. (32-2) 552 22 11
Fax (32-2) 511 01 84

Jean De Lannoy
Avenue du Roi 202/Koningslaan 202
B-1060 Bruxelles/Brussel
Tél. (32-2) 538 51 59
Fax (32-2) 538 08 41
E-mail: jean.de.lannoy@infoboard.be
URL: <http://www.jean-de-lannoy.be>

Librairie européenne/Europese Boekhandel
Rue de la Loi 244/Wetstraat 244
B-1040 Bruxelles/Brussel
Tél. (32-2) 295 26 39
Fax (32-2) 295 06 60

DANMARK

J. H. Schultz Information A/S
Harstedvang 10-12
DK-2620 Alborglund
Tél. (45) 43 83 23 00
Fax (45) 43 83 19 89
E-mail: schultz@schultz.dk
URL: <http://www.schultz.dk>

DEUTSCHLAND

Bundesanzeiger Verlag
Breite Straße 79-80
Postfach 10 05 34
D-50667 Köln
Tél. (49-221) 20 29 00
Fax (49-221) 202 92 78
E-mail: vertrieb@bundesanzeiger.de
URL: <http://www.bundesanzeiger.de>

ΕΛΛΑΔΑ/GREECE

G. C. Eleftheroudakis SA
International Bookstore
Panepistimiou 17
GR-10564 Athens
Tél. (30-1) 331 41 80/1/2/3
Fax (30-1) 323 98 21
E-mail: elebooks@net.gr

ESPAÑA

Mundi Prensa Libros, SA
Castelló, 37
E-28001 Madrid
Tél. (34-1) 431 33 99
Fax (34-1) 575 38 98
E-mail: libros@mundiprensa.es
URL: <http://www.mundiprensa.es>

Boletín Oficial del Estado

Trafalgar, 27
E-28010 Madrid
Tél. (34-1) 538 21 11 (Libros)
384 17 15 (Suscripciones)
Fax (34-1) 538 21 21 (Libros)
384 17 14 (Suscripciones)
E-mail: webmaster@boe.es
URL: <http://www.boe.es>

FRANCE

Journal officiel
Service des publications des CE
26, rue Deseaux
F-75727 Paris Cedex 15
Tél. (33) 140 59 77 01/31
Fax (33) 140 59 77 00

IRELAND

Government Supplies Agency
Publications Section
4-5 Harcourt Road
Dublin 2
Tél. (353-1) 661 31 11
Fax (353-1) 475 27 60

ITALIA

Licosa SpA
Via Duca di Calabria, 1/1
Casella postale 552
-50125 Firenze
Tel. (39-55) 64 54 15
Fax (39-55) 64 12 57
E-mail: licosa@libero.it
URL: <http://www.tbcc.it/licosa>

LUXEMBOURG

Messageries du livre SARL
5, rue Raefissen
L-2411 Luxembourg
Tél. (352) 40 10 20
Fax (352) 49 06 61
E-mail: ml@p.lu

Abonnements:

Messageries Paul Kraus
11, rue Christophe Pantin
L-2339 Luxembourg
Tél. (352) 49 98 89-9
Fax (352) 49 98 88-444
E-mail: mpk@p.lu
URL: <http://www.mpk.lu>

NEDERLAND

SDU Servicecentrum Uitgevers
Externe Fondsen
Postbus 20014
2500 EA Den Haag
Tél. (31-70) 378 98 80
Fax (31-70) 378 97 83
E-mail: sdu@sdu.nl
URL: <http://www.sdu.nl>

ÖSTERREICH

**Manzsche Verlags- und
Universitätsbuchhandlung GmbH**
Seibenbrunnengasse 21
Postfach 1
A-1050 Wien
Tél. (43-1) 53 16 13 34/40
Fax (43-1) 53 16 13 39
E-mail: austlieferung@manz.co.at
URL: <http://www.austria.EU.net:81/manz>

PORTUGAL

Imprensa Nacional-Casa da Moeda, EP
Rua Marquês de Sá da Bandeira, 16 A
P-1050 Lisboa Cedex
Tél. (351-1) 353 03 99
Fax (351-1) 353 02 34, 384 01 32

Distribuidores de Livros Bertrand Ld.º

Rua dos Terras dos Vales, 4/A
Apartado 60037
P-2701 Amadora Cedex
Tél. (351-1) 405 80 50, 486 87 87
Fax (351-1) 486 02 55

SUOMI/FINLAND

**Akateeminen Kirjakauppa/Akademiska
Bokhandeln**
Pohjoisesplanadi 39/
Norrastplanaden 39
PL/PS 128
FIN-00101 Helsinki/Helsingfors
P/tin (358-0) 121 41
F/tax (358-9) 121 44 35
E-mail: akadkaus@stockmann.fi
URL: <http://booknet.cultnet.fi/akka/index.htm>

SVERIGE

BTJ AB

Traktorvägen 1
S-221 82 Lund
Tfn (46-48) 18 00 00
Fax (46-48) 30 79 47
E-post: btj@pub.hij.se
URL: <http://www.btj.se/media/cv>

UNITED KINGDOM

**The Stationery Office Ltd
International Sales Agency**
51 Nine Elms Lane
London SW8 5DR
Tél. (44-171) 873 90 00
Fax (44-171) 873 84 63
F-mail: jil@speed@theo.co.uk
URL: <http://www.the-stationery-office.co.uk>

ISLAND

Bokabud Larusar Blöndal
Skólavörðuðing, 2
IS-101 Reykjavík
Tél. (354) 551 55 50
Fax (354) 552 55 60

NORGE

NIC Info A/S
Ostenjoveien 18
Boks 6512 Etterstad
N-0606 Oslo
Tél. (47-22) 97 45 00
Fax (47-22) 97 45 45

SCHWEIZ/SUISSE/SVIZZERA

OSEC
Stampfenbachstraße 85
CH-8035 Zürich
Tél. (41-1) 365 53 15
Fax (41-1) 365 54 11
E-mail: ulembacher@osec.ch
URL: <http://www.osec.ch>

BĂLGARIA

Euromedia-Euromedia Ltd
59, Blvd Vitosha
BG-1000 Sofia
Tél. (359-2) 980 37 96
Fax (359-2) 980 42 30

ČESKÁ REPUBLIKA

NIS ČR — prodejna
Korvátská 5
CZ-113 57 Praha 1
Tél. (420-2) 24 22 94 33, 24 23 09 37
Fax (420-2) 24 22 04 33
E-mail: nkposp@dec.nis.cz
URL: <http://www.nis.cz>

CYPRUS

Cyprus Chamber of Commerce & Industry
Griva-Digeni 38 & Deligiorgi 3
Mail orders:
PO Box 1455
CY-1509 Nicosia
Tél. (357-2) 44 95 00, 46 23 12
Fax (357-2) 36 10 44
E-mail: cy1691_e.c.cyprus@vans.infonet.com

MAGYARORSZÁG

Euro Info Service
Europa Ház
Margitsziget
PO Box 475
H-1396 Budapest 62
Tél. (36-1) 111 60 61, 111 62 16
Fax (36-1) 302 50 35
E-mail: euronfo@mail.matax.hu
URL: <http://www.euroinfo.hu/index.htm>

MALTA

Miller Distributors Ltd
Malta International Airport
PO Box 25
LQA 05 Malta
Tél. (356) 66 44 88
Fax (356) 67 67 99

POLSKA

Ars Polona
Krakowska Przedmiescie 7
Skr. pocztowa 1001
PL-00-950 Warszawa
Tél. (48-22) 820 12 01
Fax (48-22) 826 62 40, 826 53 34, 826 86 73
E-mail: ars_pol@bevy.hsn.com.pl

ROMÂNIA

Euromedia
Str. G-ral Berthelot Nr 41
RO-70749 Bucuresti
Tél. (40-1) 210 44 01, 614 06 64
Fax (40-1) 210 44 01 312 96 48

SLOVAKIA

**Slovak Centre of Scientific and Technical
Information**
Namestie slobody 19
SK-01223 Bratislava 1
Tel. (421-7) 531 83 54
Fax (421-7) 531 83 64
E-mail: europ@ibbi.sl.sk/stuba.sk

SLOVENIA

Gospodarski Vestnik
Zaodniska skupina d.d.
Dvorska cesta 5
SLO-1000 Ljubljana
Tél. (386) 611 33 03 54
Fax (386) 611 33 91 28
E-mail: belco@gvestnik.si
URL: <http://www.gvestnik.si>

TÜRKİYE

Dünya Infotel AS
İstiklal Cad. No. 469
TR-80050 Tünel Istanbul
Tél. (90-212) 251 91 96
Fax (90-212) 251 91 97

AUSTRALIA

Hunter Publications
PO Box 404
3187 Abbotsford, Victoria
Tel. (61-3) 94 17 53 61
Fax (61-3) 94 19 71 54

CANADA

Subscriptions only/Uniquement abonnements:
Renouf Publishing Co. Ltd
5369 Chemin Canotek Road Unit 1
K1A 9J3 Ottawa, Ontario
Tél. (1-613) 745 26 65
Fax (1-613) 745 76 60
E-mail: renouf@fox.rstn.ca
URL: <http://www.renoufbooks.com>

EGYPT

The Middle East Observer
41, Short Street
Cairo
Tél. (20-2) 393 97 32
Fax (20-2) 393 97 32

HRVATSKA

Mediastade Ltd
Pavla Hatka 1
HR-10000 Zagreb
Tél. (385-1) 43 03 92
Fax (385-1) 43 03 92

INDIA

EBIC India
3rd Floor, Y. B. Chavan Centre
Gen. J. Bhosale Marg.
400 021 Mumbai
Tél. (91-22) 262 60 64
Fax (91-22) 265 45 64
E-mail: ebic@glasbm01.vsnl.net.in

ISRAËL

ROY International
17, Shimon Hataissi Street
PO Box 13056
61130 Tel Aviv
Tel. (972-3) 546 14 23
Fax (972-3) 546 14 42
E-mail: roy@netvision.net.il

Sub-agent for the Palestinian Authority:

Index Information Services
PO Box 19502
Jerusalem
Tel. (972-2) 627 16 34
Fax (972-2) 627 12 19

JAPAN

PSI-Japan
Asahi Sanbancho Plaza #208
7-1 Sanbancho, Chiyoda-ku
Tokyo 102
Tél. (81-3) 32 34 69 21
Fax (81-3) 32 34 65 15
E-mail: psijapan@gol.com
URL: <http://www.psi-japan.com>

MALAYSIA

EBIC Malaysia
Level 7, Wisma Hong Leong
18, Jalan Perak
50450 Kuala Lumpur
Tél. (60-3) 262 02 98
Fax (60-3) 262 51 98
E-mail: ebic-kl@mol.net.my

PHILIPPINES

EBIC Philippines
19th Floor, PS Bank Tower Sen.
Gil J. Puyat Ave. cor. Tindalo St.
Makati City
Metro Manila
Tél. (83-2) 759 66 80
Fax (83-2) 759 66 90
E-mail: ebiccom@globe.com.ph

RUSSIA

CCEC
60-Ietiya Otkrytiya Av. 9
117312 Moscow
Tél. (70-95) 135 52 27
Fax (70-95) 135 52 27

SOUTH AFRICA

Safo
5th Floor Export House,
GMR Maude & West Streets
PO Box 782 706
2146 Sandton
Tél. (27-11) 883 37 37
Fax (27-11) 883 65 68

SOUTH KOREA

Kyowa Book Company
1 F1, Phylung Hwa Bldg
411-2 Heo Jeong Dong, Mapo Ku
121-220 Seoul
Tél. (82-2) 322 67 80/1
Fax (82-2) 322 67 82
E-mail: kyowa2@knet.co.kr

THAÏLANDE

EBIC Thailand
Vanissa Building 8th Floor
29 Soi Chidlom
Ploenchit
10330 Bangkok
Tél. (66-2) 655 06 27
Fax (66-2) 655 06 28
E-mail: ebicbkk@ksc15.th.com

UNITED STATES OF AMERICA

Berman Associates
4611-F Assembly Drive
MD20706 Lanham
Tél. (800) 274 44 47 (toll free telephone)
Fax (800) 805 34 50 (toll free fax)
E-mail: query@berman.com
URL: <http://www.berman.com>

ANDERE LANDER/OTHER COUNTRIES/
AUTRES PAYS

Bitte wenden Sie sich an ein Büro Ihrer
Wahl / Please contact the sales office of
your choice / Veuillez vous adresser au
bureau de vente de votre choix

The atlas contains maps of the deposition on Europe of caesium-137 which was released in the Chernobyl accident in 1986. Maps are provided on three scales: European, national/regional and local. Perspective is also provided on the current radiological significance of these deposits.

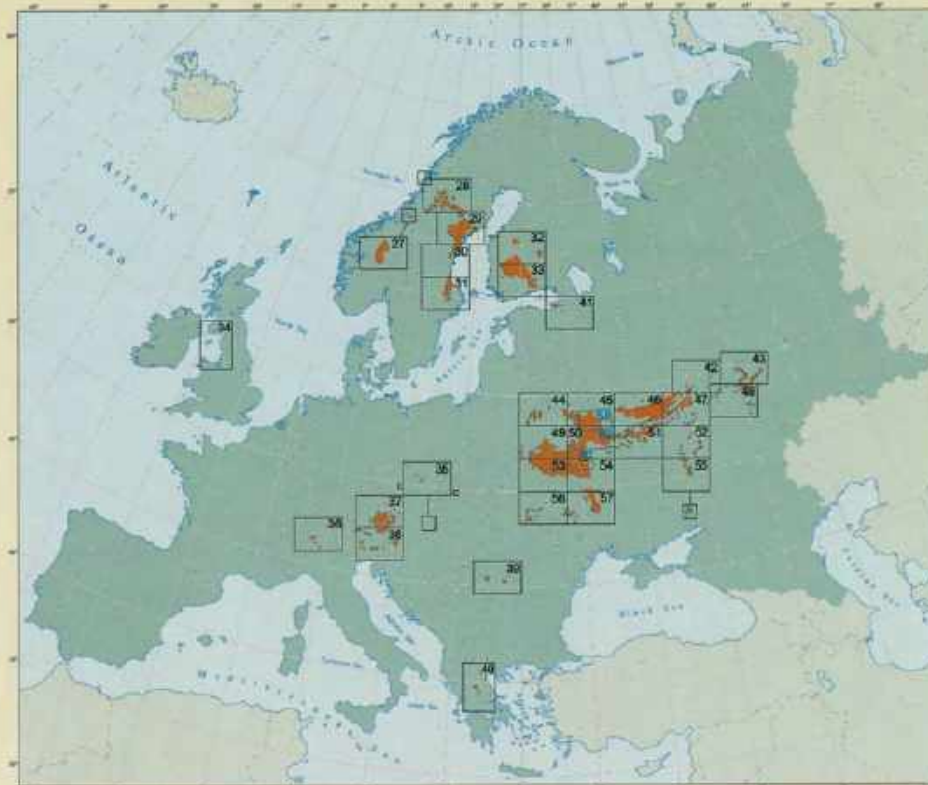
Атлас содержит карты загрязнения Европы цезием-137 выпущенного после чернобыльской аварии в 1986 г. Карты обеспечиваются в трех масштабах: европейская, национальная/областная и местная. Видение так же обеспечивается о современном радиологическом значении этих осадков

Условные знаки для карт масштабов 1 : 250 000 - 1 : 500 000

< 25 000

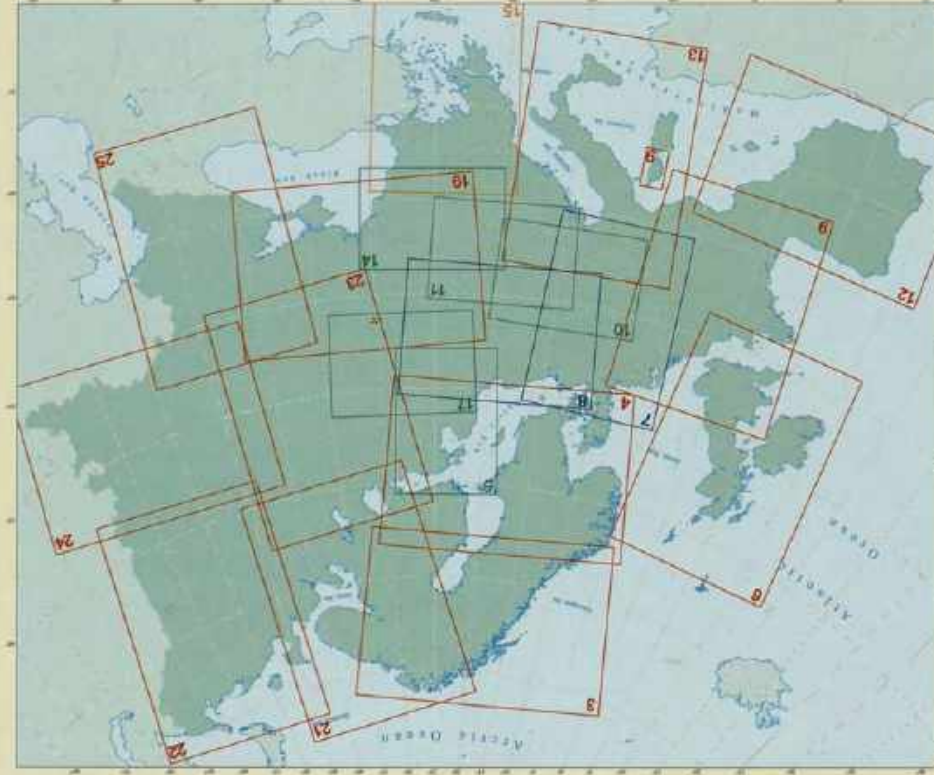
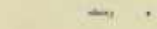
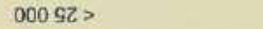
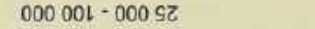
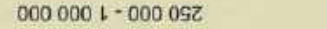
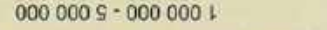
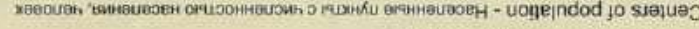
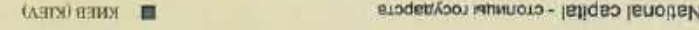
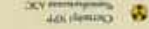
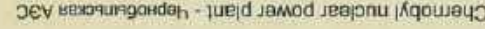
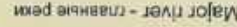
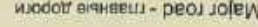
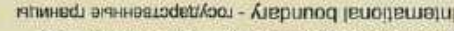
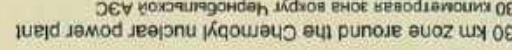
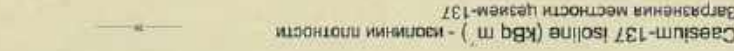
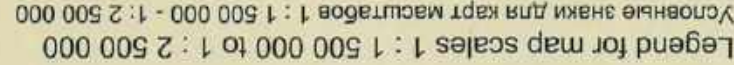
Chemistry 707
Supplemental #2C

3 1



Русский алфавит и транслитерация

Cyrillic	Transliteration	Cyrillic	Transliteration
А - а	A - a	Р - р	R - r
Б - б	B - b	С - с	S - s
В - в	V - v	Т - т	T - t
Г - г	G - g	У - у	U - u
Д - д	D - d	Ф - ф	F - f
Е - е	E - e	Х - х	Kh - kh
Ж - ж	Zh - zh	Ц - ц	Ts - ts
З - з	Z - z	Ч - ч	Ch - ch
И - и	I - i	Ш - ш	Sh - sh
Й - й	I - i	Щ - щ	Shch - shch
К - к	K - k	Ъ - ъ	' - '
Л - л	L - l	Ы - ы	Y - y
М - м	M - m	Ь - ь	' - '
Н - н	N - n	Э - э	E - e
О - о	O - o	Ю - ю	Yu - yu
П - п	P - p	Я - я	Ya - ya



Quantity	Benimna	Equivalent dose			
		Activity	Activity	Equivalent dose	Equivalent dose
Unit	Equivalent dose	SI - Ci	Becquerel (Bq)	Becquerel (Bq)	Becquerel (Bq)
		ggs - cpc	curie (Ci)	Kaput (Kk)	rem
ggs ↔ SI	cpc ↔ CH		1 Ci = 3.7 · 10 ¹⁰ Bq	1 Kk = 3.7 · 10 ¹⁰ Bq	1 rem = 0.01 Sv 1 rcp = 0.01 Sv

Submultiples		Multiples	
Name	Value	Name	Value
milli	10^{-3}	kilo	10^3
micro	10^{-6}	mega	10^6
nanosec	10^{-9}	giga	10^9
pico	10^{-12}	tera	10^{12}
femto	10^{-15}	petra	10^{15}
atto	10^{-18}	exa	10^{18}



Price (excluding VAT) in Luxembourg: ECU 100

OFFICE FOR OFFICIAL PUBLICATIONS
OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

L-2985 Luxembourg

ISBN 92-828-3140-X



9 789282 831403 >