

# Site and Exposure Scenario Characterization and Assessment of Radiological Impacts

Mikhail Balonov

Institute of Radiation Hygiene

St. Petersburg, Russia

# Contents

- Introduction: Remediation needs worldwide
- From radiological criteria to targeted monitoring
- IAEA guidance on remediation, monitoring and modeling
- Site and exposure characterization for decontamination
- Site and exposure characterization for agricultural remediation
- Conclusions

# Introduction

- In all continents, some currently or potentially inhabited areas are contaminated with man-made radionuclides due to either historical industrial activities or emergencies (PA Mayak area in Russia, Marshall Islands, Chernobyl affected areas in FSU countries, Goyania in Brazil, Fukushima prefecture in Japan, etc).
- In some of the affected areas the environmental remediation would result in substantial reduction of public exposure.
- The remediation of areas with elevated radiation levels presents an actual problem for a number of countries and involves significant efforts and resources.

RADIOLOGICAL  
ASSESSMENT  
REPORTS  
SERIES



## RADIOLOGICAL CONDITIONS AT BIKINI ATOLL: PROSPECTS FOR RESETTLEMENT

RADIOLOGICAL  
ASSESSMENT  
REPORTS  
SERIES



## Radiological Conditions in the Dnieper River Basin

Assessment by an international expert team  
and recommendations for an action plan



## RADIOLOGICAL CONDITIONS AT THE SEMIPALATINSK TEST SITE, KAZAKHSTAN:

Preliminary assessment  
and recommendations for  
further study



RADIOLOGICAL  
ASSESSMENT  
REPORTS  
SERIES

REPORT BY AN  
INTERNATIONAL  
ADVISORY  
COMMITTEE



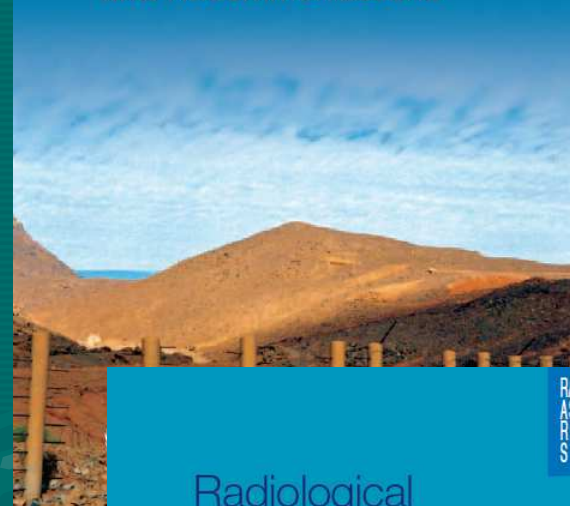
## THE RADIOLOGICAL SITUATION AT THE ATOLLS OF MURUROA AND FANGATAUFA

MAIN  
REPORT



RADIOLOGICAL  
ASSESSMENT  
REPORTS  
SERIES

## Radiological Conditions at the Former French Nuclear Test Sites in Algeria: Preliminary Assessment and Recommendations



RADIOLOGICAL  
ASSESSMENT  
REPORTS  
SERIES

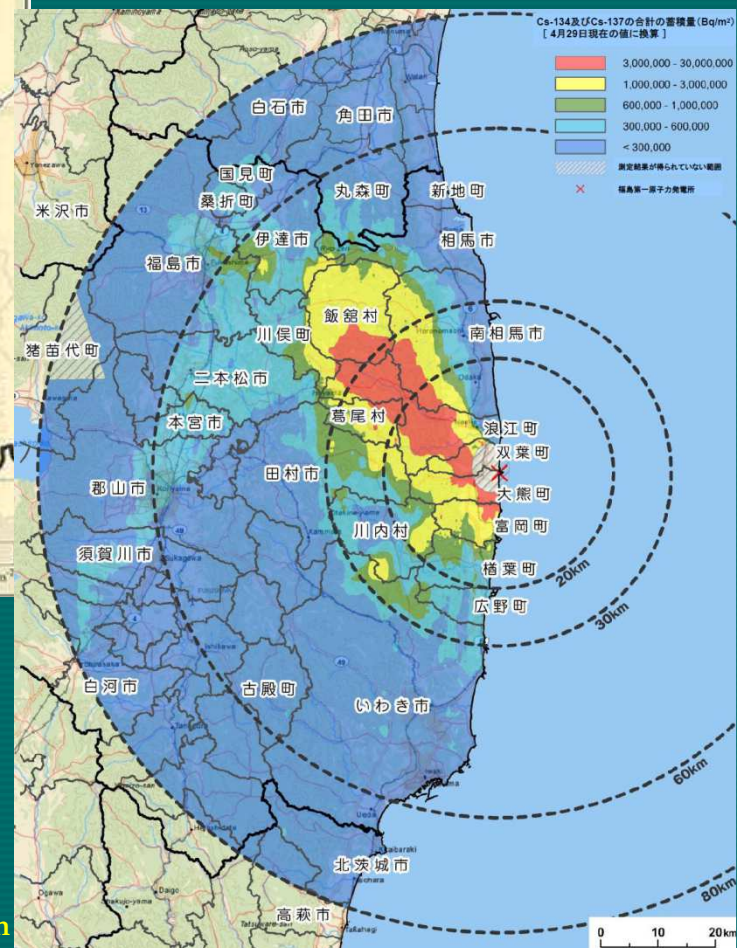
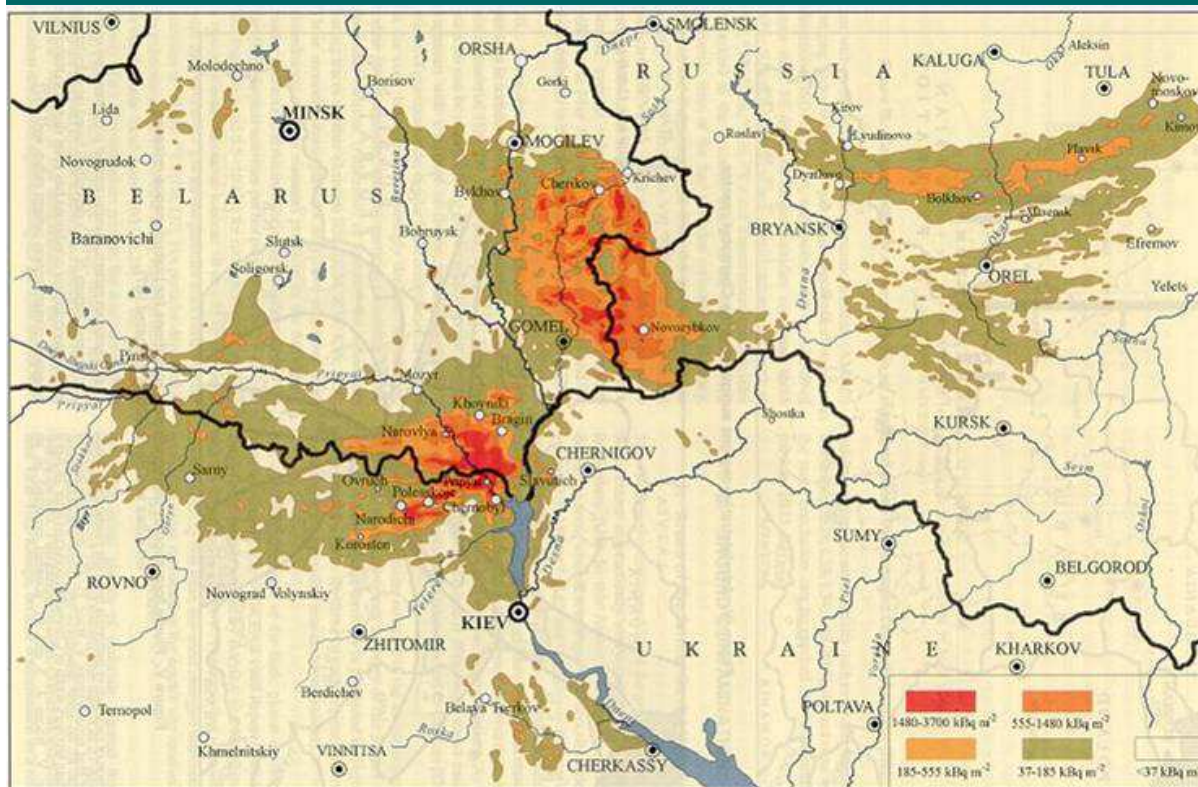
## Radiological Conditions in Areas of Kuwait with Residues of Depleted Uranium

Report by an international group of experts





# Most topical areas for remediation: Chernobyl (left) and Fukushima (right)



- Areas are different but radionuclide levels and remediation needs are similar

# Generic radiological criteria

- The post-emergency remediation becomes topical after emergency response is terminated and exposure situation passes to the existing one (guidance?).
- Generic reference levels for optimization of remediation efforts in the existing exposure situations have been suggested by ICRP and IAEA as a range of annual effective dose of the Representative Person.
- International guidance on the selection of appropriate reference levels for typical exposure conditions of the general public is not available yet (except of radon exposure).

# Derived reference levels

- The derived reference levels (ambient dose rate and/or radionuclide concentration in environmental media and foodstuffs) are more suitable for practical application.
- While generic dose criteria can be elaborated in advance for typical conditions, the derived reference levels (DRLs) are rather event/area specific.
- DRLs can be calculated from the generic RLs by means of appropriate models with event/area specific parameters.

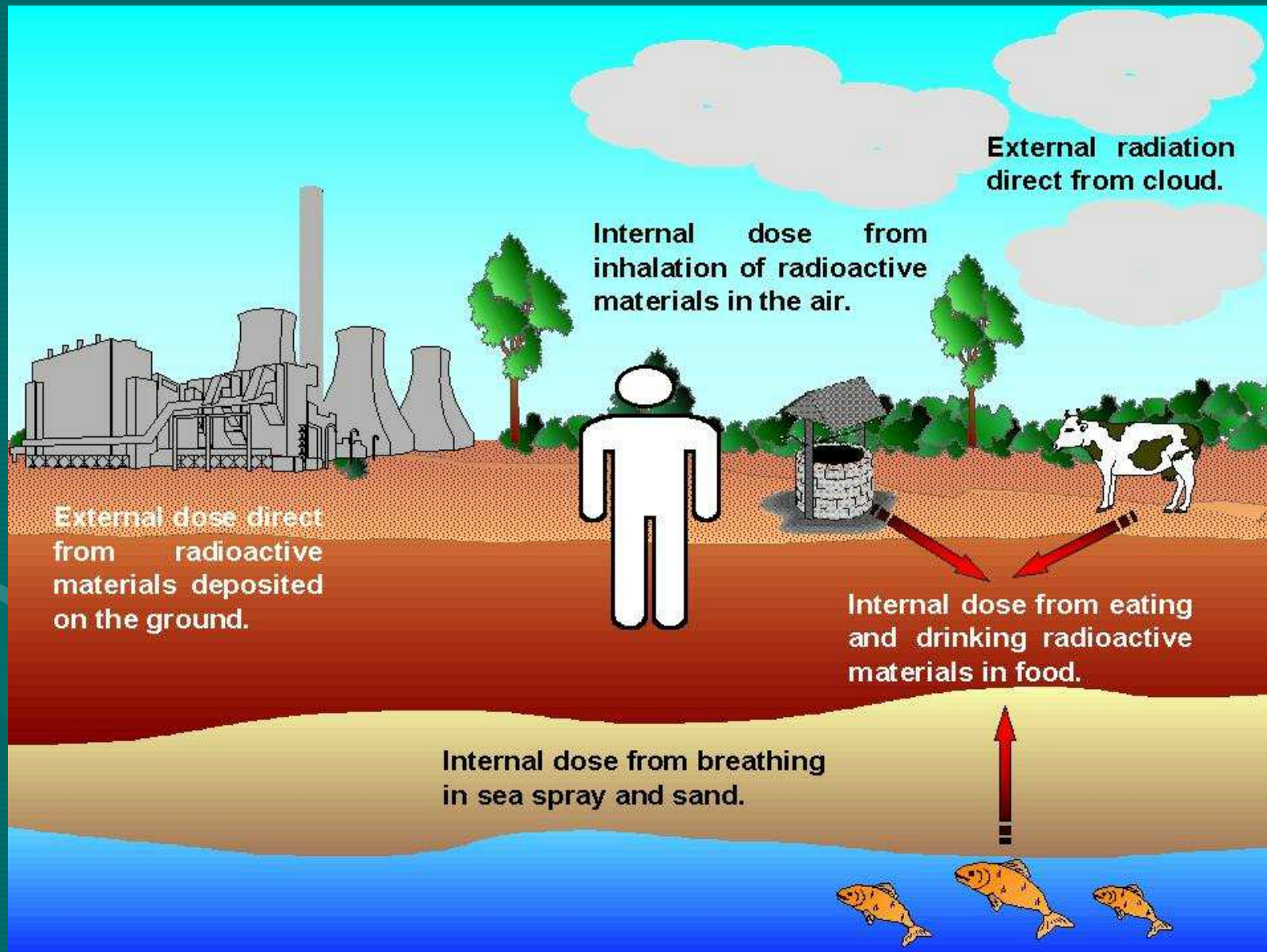


# Assessment of event/area specific DRLs

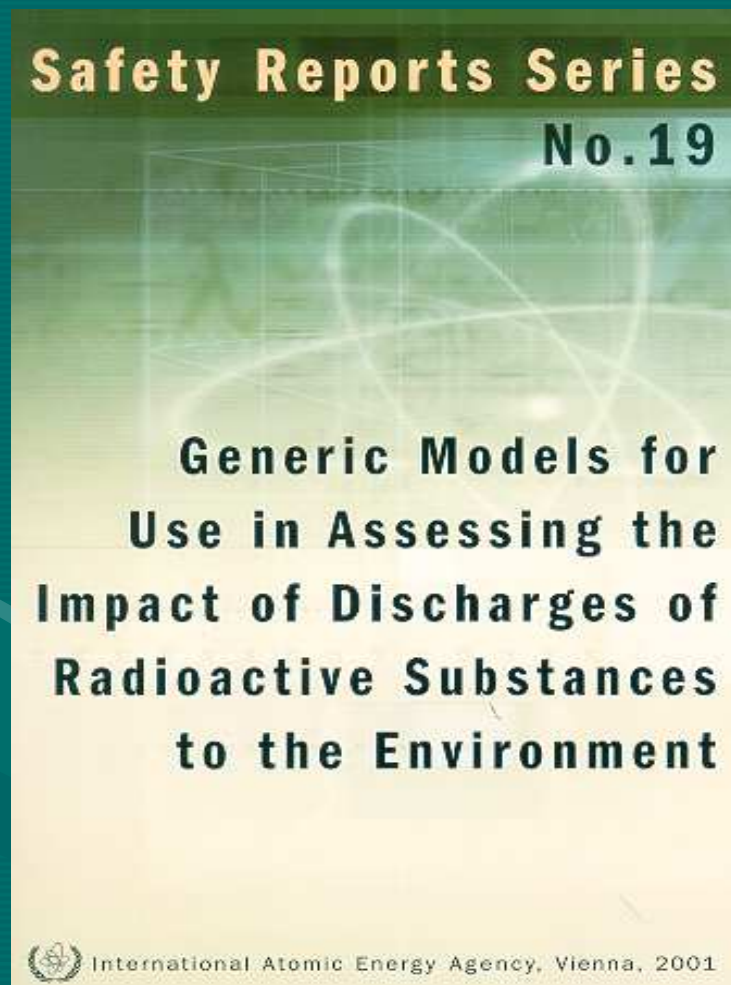
- Numerous international [IAEA], regional [PC CREAM, ResRad] and national [eg ECOSYS-87, PATHWAY, etc] radioecological models can be used.
- Those models address major human exposure pathways and take account of:
  - fallout isotopic composition,
  - ecosystem characteristics,
  - population age-sex and social structure and lifestyle,
  - dwelling types, and
  - food rations, etc.



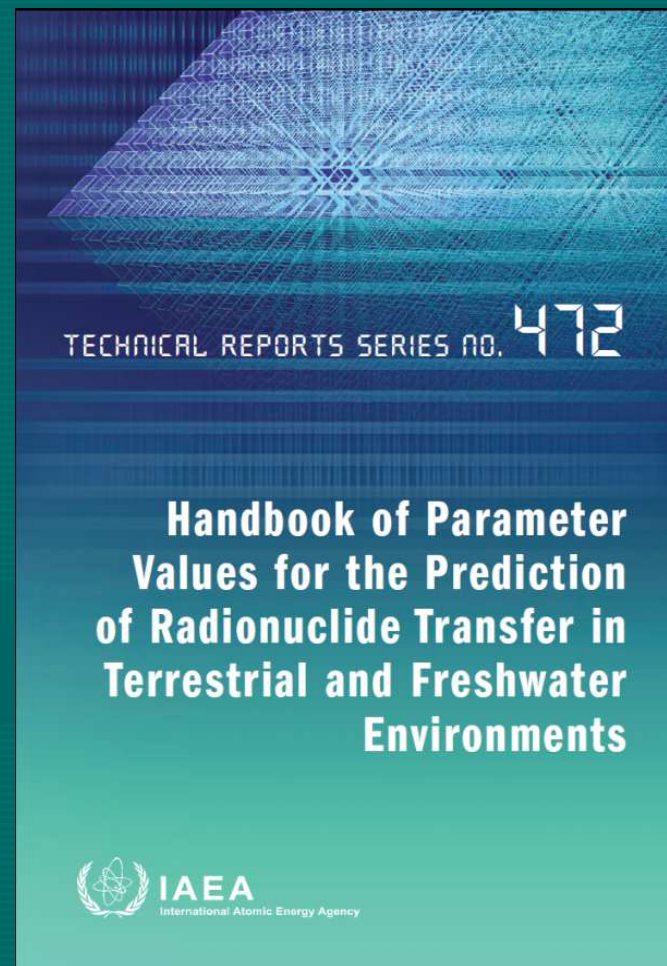
# Human exposure pathways



# Existing IAEA guidance on environmental modeling



**Currently under revision**



# Monitoring for remediation purposes

- The radiological characteristics of the environment considered as candidate for remediation should be compared with DRLs
- Targeted environmental radiation monitoring is, therefore, necessary
- Monitoring grid should be commensurate with:
  - Non-uniformity of area deposition of radionuclides,
  - Scale of local remediation actions



# IAEA guidance on generic and remediation-specific Monitoring

IAEA Safety Standards  
for protecting people and the environment

Environmental and  
Source Monitoring for  
Purposes of Radiation  
Protection

Safety Guide  
No. RS-G-1.8



**Safety Reports Series**  
**No. 64**

**Programmes and  
Systems for Source  
and Environmental  
Radiation Monitoring**



**Safety Reports Series**  
**No. 72**

**Monitoring for  
Compliance with  
Remediation Criteria  
for Sites**





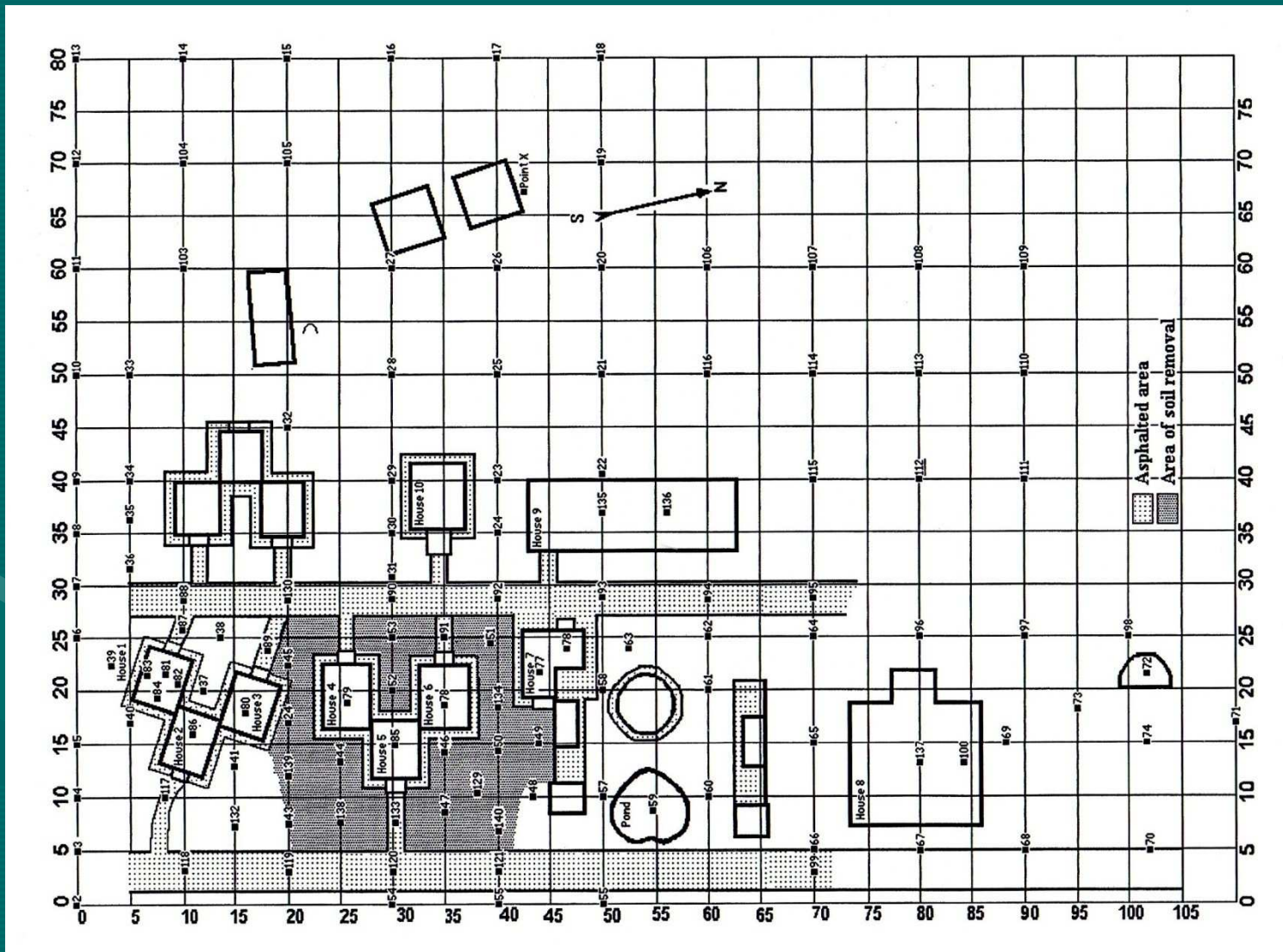
# Environmental countermeasures/remediation

- Decontamination of settlements
- Agricultural countermeasures:
  - Soil-based
  - Animal breeding
  - Food processing
  - Replacement of agricultural crops
- Restrictions in forestry
- Countermeasures in water industry
- Information campaigns

# The pre-remediation monitoring plan

- Space and time resolution for measurements and sampling,
- Ecosystem characterization (climate, soil type, vegetation etc),
- Soil monitoring (*in situ* measurements, depth distribution, etc),
- Atmosphere monitoring (air concentrations, aerosol size, etc),
- Water body monitoring (water, sediments, fish, etc),
- Agricultural foods and raw materials (vegetable and animal),
- Semi-natural foods (game, wild fungi and berries, etc),
- Supplementary information (demography, dwelling types, food rations, etc)
- Recording and reporting of monitoring data.

# Map of the Russian settlement to be decontaminated (Fogh et al. 1999)



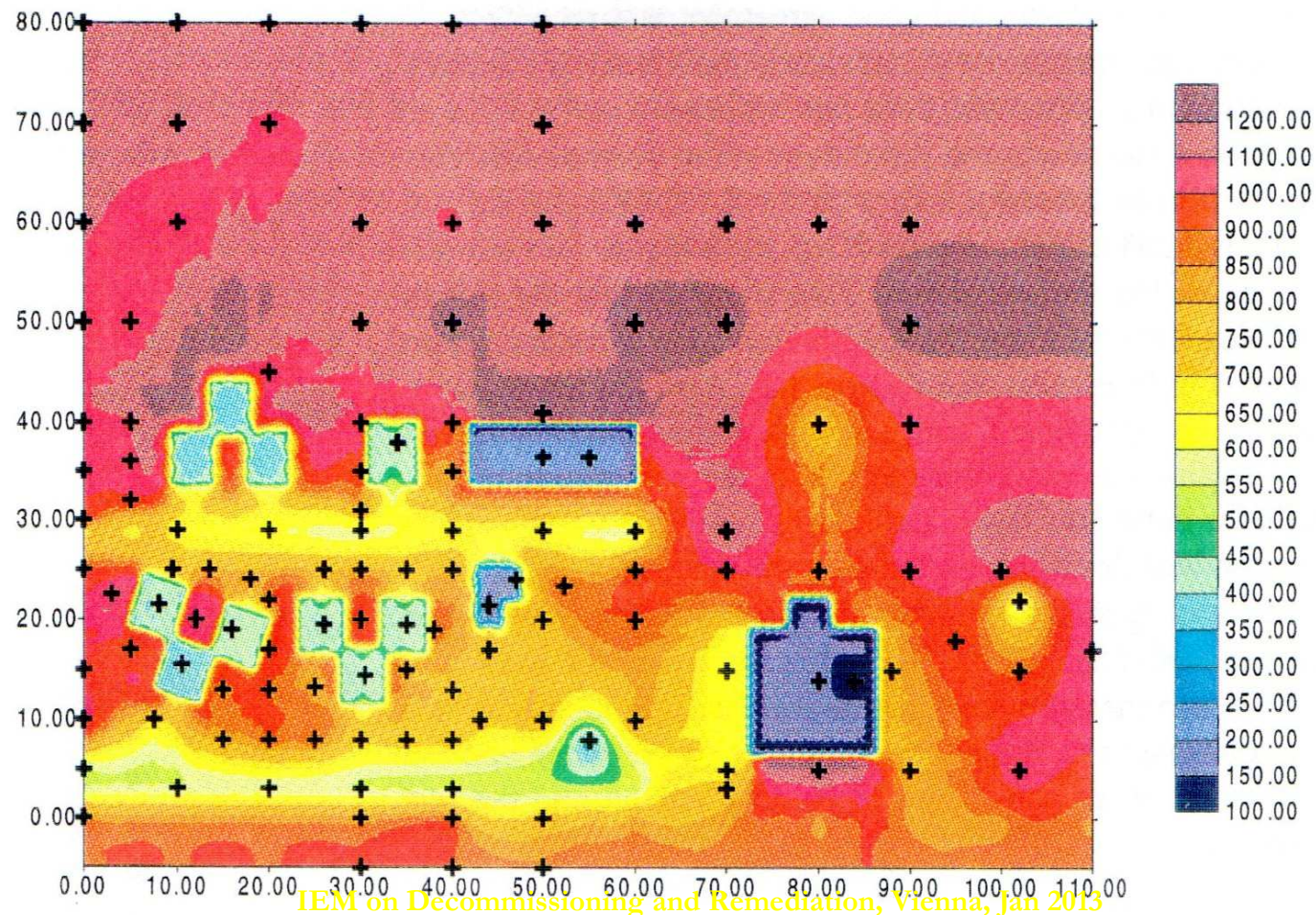


# Measurement in a grassed area with a Ge spectrometer and a Reuter Stokes ionization chamber (Bryansk region, Russia)



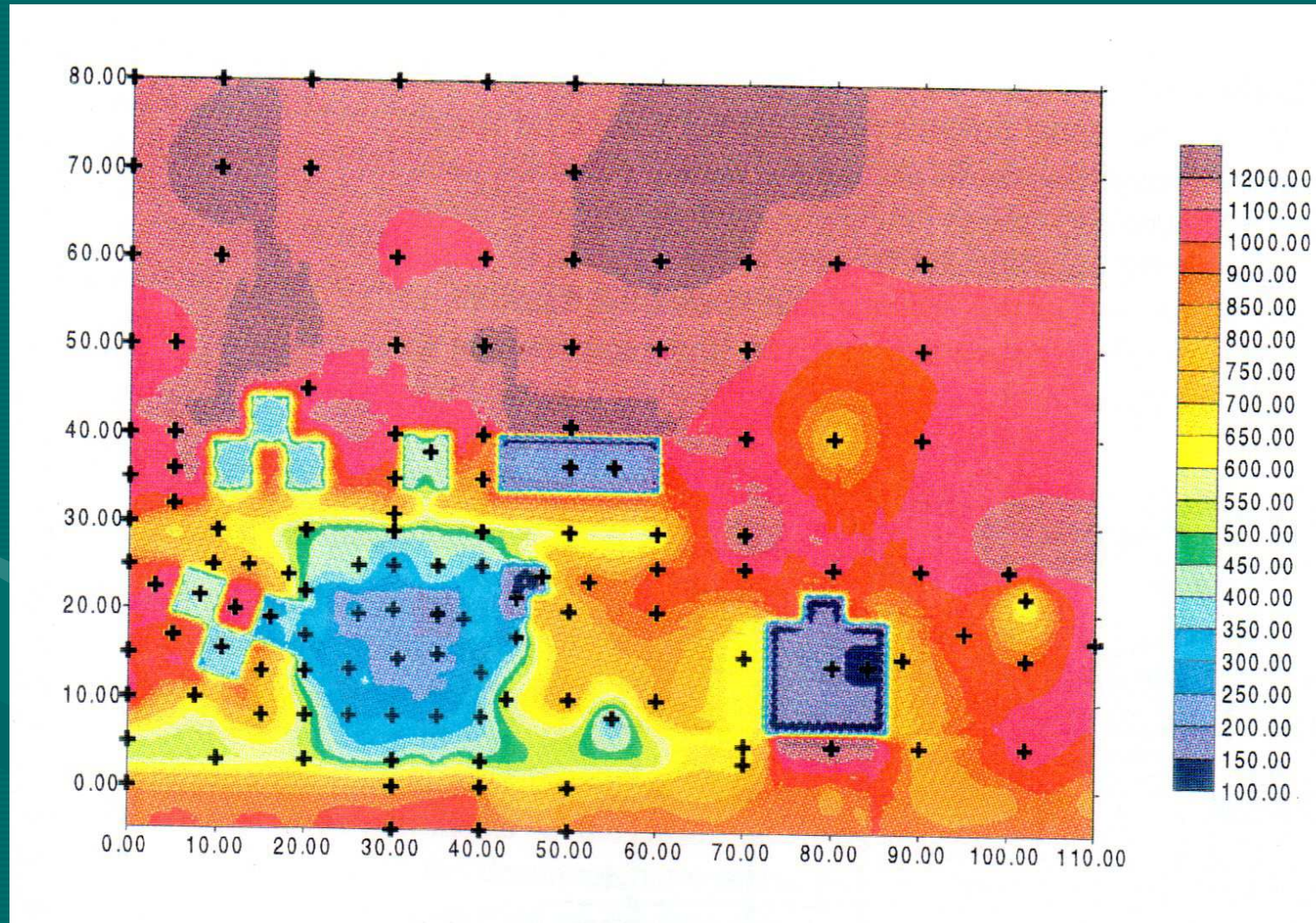


# Dose rate map of the settlement before decontamination (nSv/h)





# Dose rate map of the settlement after decontamination (nSv/h)





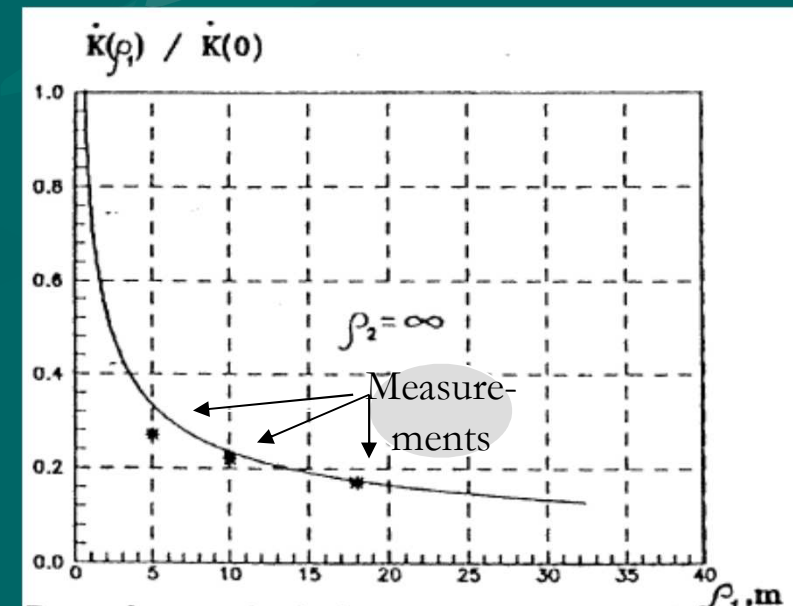
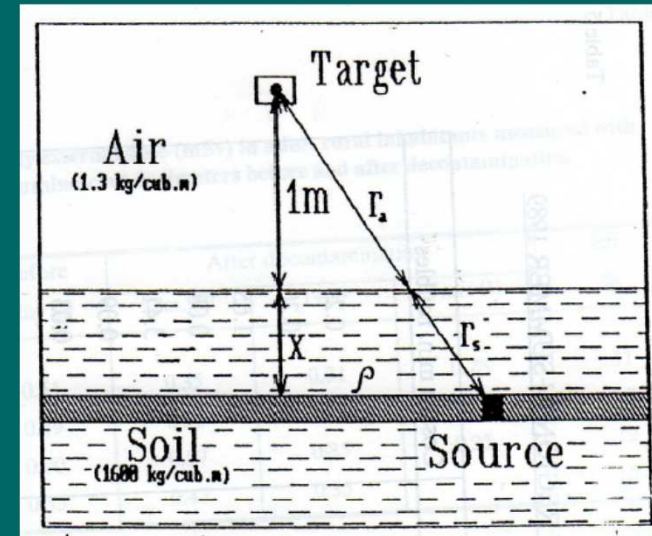
# Decontamination of settlements





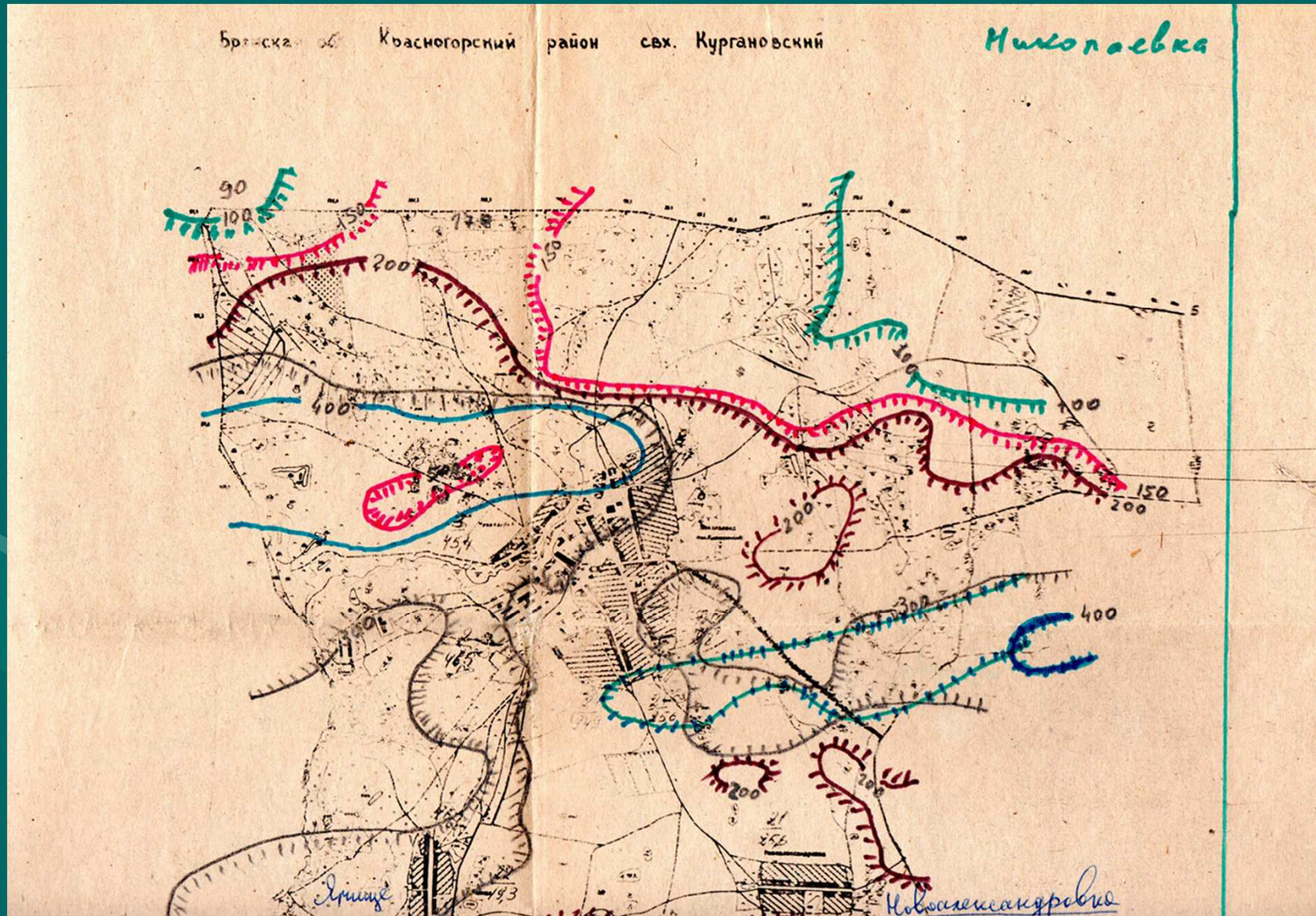
# Some dosimetry aspects (Balonov et al. 1991)

- Preliminary calculation of decontamination effectiveness for 1989, 3 years after the Chernobyl fallout
- $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs} = 0.17$
- $S(x) = S(0) \cdot \exp(-0.3x)$ ,  $\text{Bq cm}^{-3}$
- DRRF strongly depends on the decontamination radius
- Confirmed experimentally
- Model for external effective dose and averted dose assessment developed





# Dose rate map of the area to be contaminated (Bryansk region, 198





# Memo for the residents and workers undertaking decontamination

## ПАМЯТКА

для военнослужащих и населения, проводящих дезактивацию населенных пунктов Брянской области в 1989–1990 гг.

Целью дезактивационных работ является уменьшение поглощенной дозы в организме жителей, которая создается радиоактивными веществами, рассеянными на местности (почве, строениях и др.) после аварии на Чернобыльской АЭС. Проведение этих работ необходимо в тех населенных пунктах Брянской области, где согласно дозиметрическому прогнозу средняя доза облучения жителей за 70 лет без дезактивации может превысить установленный Министерством здравоохранения СССР предел дозы за жизнь, равный 35 бэр. Успешное проведение дезактивации в этих населенных пунктах уменьшит дозу внешнего облучения и позволит уже в 1990 году отменить многие ограничения в режиме поведения и питания личного приусадебного хозяйства.

Для уменьшения дозы внешнего облучения жителей следует всеми доступными средствами снижать уровень гамма-излучения. Поскольку снижение гамма-фона на всей территории населенного пункта требует очень больших материальных затрат, в первую очередь дезактивируются места регулярного и длительного пребывания людей. К ним относятся территории учреждений (детские сады, ясли, школы), общественных (клуб, магазин, медпункт, церковь и др.) и производственных (мех. двор, ферма, цех и др.) зданий, личные подворья и другие общественные места (площадь, спортплощадка, танцплощадка и т. п.). При дезактивации территории вокруг здания гамма-фон внутри него также уменьшается.

На малых участках, особенно на личных подворьях, эту работу приходится выполнять вручную. На месте удаленного грунта можно подсыпать щебня, песок или чистую почву. Отдаленные участки можно бетонировать или асфальтировать, закрыть плиткой. В результате снижения поглощенной дозы в организме жителей, которая создается радиоактивными веществами, рассеянными на местности (почве, строениях и др.) после аварии на Чернобыльской АЭС, проведение этих работ необходимо в тех населенных пунктах Брянской области, где согласно дозиметрическому прогнозу средняя доза облучения жителей за 70 лет без дезактивации может превысить установленный Министерством здравоохранения СССР предел дозы за жизнь, равный 35 бэр. Успешное проведение дезактивации в этих населенных пунктах уменьшит дозу внешнего облучения и позволит уже в 1990 году отменить многие ограничения в режиме поведения и питания личного приусадебного хозяйства.

Снижение гамма-фона в 1,5–2,0 раза достигается при послойном снятии верхнего слоя почвы толщиной 10 см. Однако в этом случае при уносе песка ложится слой радиоактивного материала, который может уменьшиться, если его удалить. Снятие верхнего слоя почвы толщиной 10–20 см. Дополнительно уменьшить гамма-фон на территории можно, удалив радиоактивный слой почвы толщиной 5–10 см. Среднюю почву необходимо вывезти за пределы населенного пункта в специально отведенные места, согласованные с ЦСЖ, и утвержденные исполкомом. На большой площади почвенный слой целесообразно удалить с помощью строительной техники: бульдозеры, грейдеры.

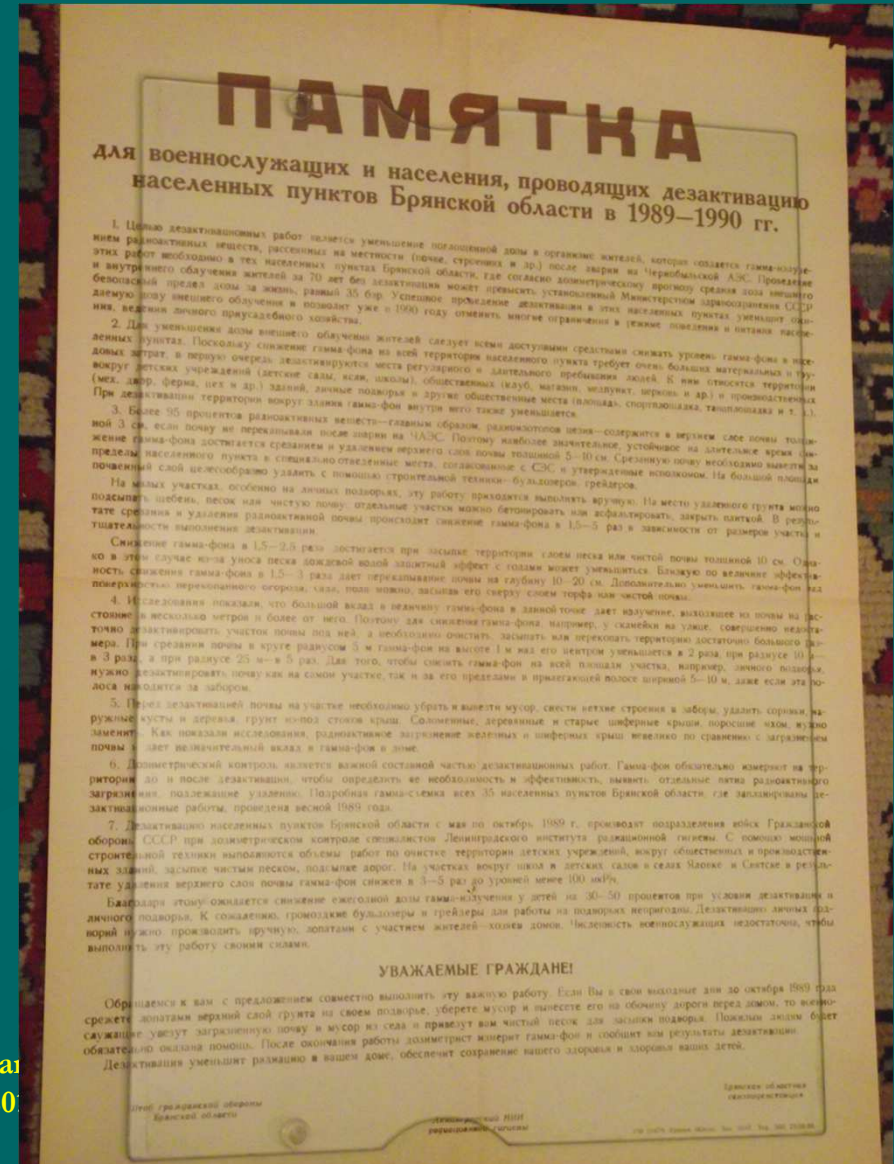
На малых участках, особенно на личных подворьях, эту работу приходится выполнять вручную. На месте удаленного грунта можно подсыпать щебня, песок или чистую почву. Отдаленные участки можно бетонировать или асфальтировать, закрыть плиткой. В результате снижения поглощенной дозы в организме жителей, которая создается радиоактивными веществами, рассеянными на местности (почве, строениях и др.) после аварии на Чернобыльской АЭС, проведение этих работ необходимо в тех населенных пунктах Брянской области, где согласно дозиметрическому прогнозу средняя доза облучения жителей за 70 лет без дезактивации может превысить установленный Министерством здравоохранения СССР предел дозы за жизнь, равный 35 бэр. Успешное проведение дезактивации в этих населенных пунктах уменьшит дозу внешнего облучения и позволит уже в 1990 году отменить многие ограничения в режиме поведения и питания личного приусадебного хозяйства.

Снижение гамма-фона в 1,5–2,0 раза достигается при послойном снятии верхнего слоя почвы толщиной 10 см. Однако в этом случае при уносе песка ложится слой радиоактивного материала, который может уменьшиться, если его удалить. Снятие верхнего слоя почвы толщиной 10–20 см. Дополнительно уменьшить гамма-фон на территории можно, удалив радиоактивный слой почвы толщиной 5–10 см. Среднюю почву необходимо вывезти за пределы населенного пункта в специально отведенные места, согласованные с ЦСЖ, и утвержденные исполкомом. На большой площади почвенный слой целесообразно удалить с помощью строительной техники: бульдозеры, грейдеры.

На малых участках, особенно на личных подворьях, эту работу приходится выполнять вручную. На месте удаленного грунта можно подсыпать щебня, песок или чистую почву. Отдаленные участки можно бетонировать или асфальтировать, закрыть плиткой. В результате снижения поглощенной дозы в организме жителей, которая создается радиоактивными веществами, рассеянными на местности (почве, строениях и др.) после аварии на Чернобыльской АЭС, проведение этих работ необходимо в тех населенных пунктах Брянской области, где согласно дозиметрическому прогнозу средняя доза облучения жителей за 70 лет без дезактивации может превысить установленный Министерством здравоохранения СССР предел дозы за жизнь, равный 35 бэр. Успешное проведение дезактивации в этих населенных пунктах уменьшит дозу внешнего облучения и позволит уже в 1990 году отменить многие ограничения в режиме поведения и питания личного приусадебного хозяйства.

Снижение гамма-фона в 1,5–2,0 раза достигается при послойном снятии верхнего слоя почвы толщиной 10 см. Однако в этом случае при уносе песка ложится слой радиоактивного материала, который может уменьшиться, если его удалить. Снятие верхнего слоя почвы толщиной 10–20 см. Дополнительно уменьшить гамма-фон на территории можно, удалив радиоактивный слой почвы толщиной 5–10 см. Среднюю почву необходимо вывезти за пределы населенного пункта в специально отведенные места, согласованные с ЦСЖ, и утвержденные исполкомом. На большой площади почвенный слой целесообразно удалить с помощью строительной техники: бульдозеры, грейдеры.

На малых участках, особенно на личных подворьях, эту работу приходится выполнять вручную. На месте удаленного грунта можно подсыпать щебня, песок или чистую почву. Отдаленные участки можно бетонировать или асфальтировать, закрыть плиткой. В результате снижения поглощенной дозы в организме жителей, которая создается радиоактивными веществами, рассеянными на местности (почве, строениях и др.) после аварии на Чернобыльской АЭС, проведение этих работ необходимо в тех населенных пунктах Брянской области, где согласно дозиметрическому прогнозу средняя доза облучения жителей за 70 лет без дезактивации может превысить установленный Министерством здравоохранения СССР предел дозы за жизнь, равный 35 бэр. Успешное проведение дезактивации в этих населенных пунктах уменьшит дозу внешнего облучения и позволит уже в 1990 году отменить многие ограничения в режиме поведения и питания личного приусадебного хозяйства.



IEM on Decommissioning at  
Vienna, Jan 20

# Amount of decontamination work done in the Bryansk region, Russia, Summer 1989

Operations	Amount
<u>Decontaminated:</u>	
Settlements	93 (total population: 90 000)
Work buildings	32
Private plots	1136
Territories	$1.4 \cdot 10^6$
Agricultural machine depots, farmyards	25 000 m <sup>2</sup>
Roads, streets	190 km
Ground removed	325 000 m <sup>3</sup>
Non-contaminated ground delivered	466 000 m <sup>3</sup>

- Averted collective lifetime dose estimated about 1,000 Man-Sv
- Costs very low because job was done by military troops.

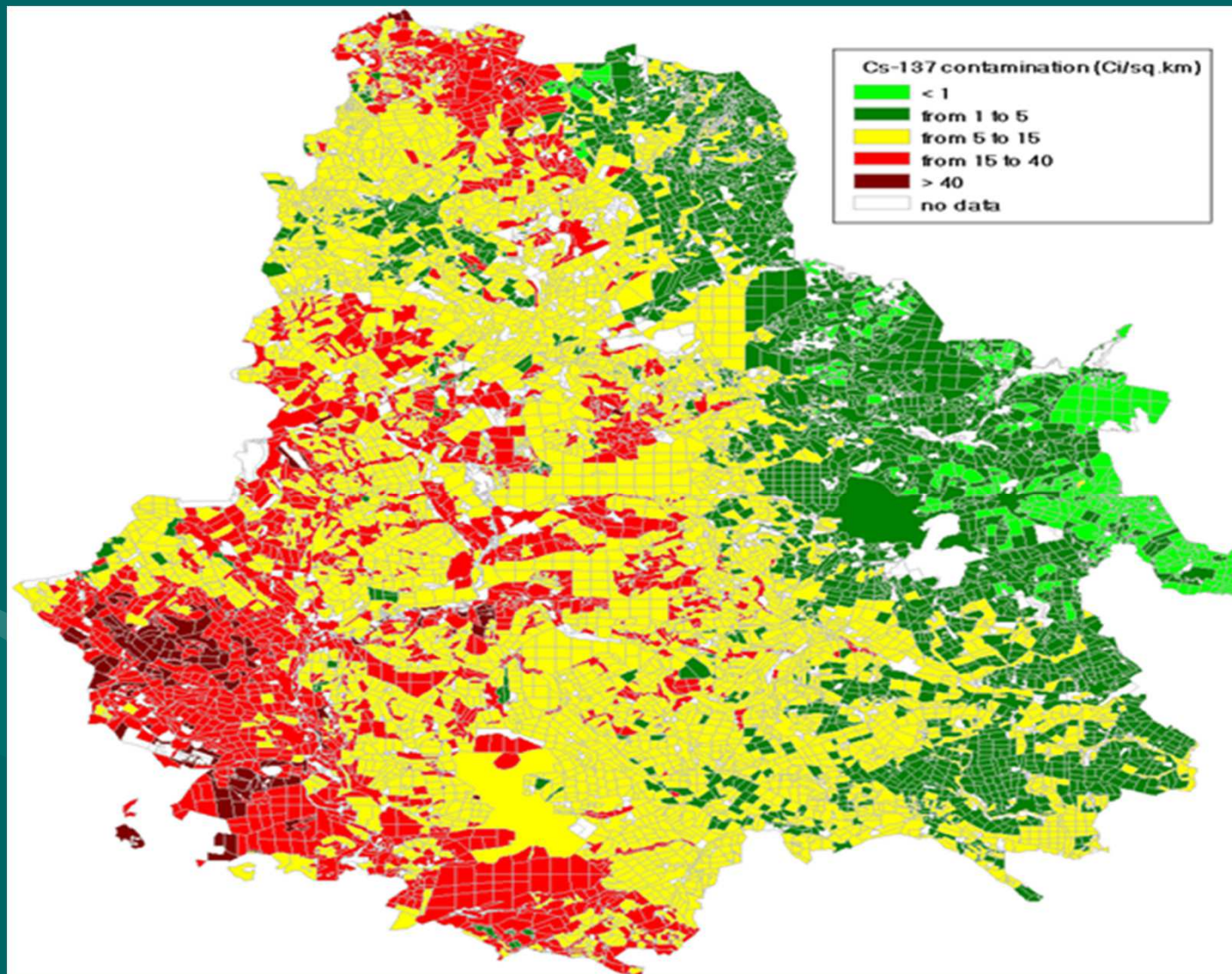
# Mean monthly external dose (mSv) of adults measured with TLDs before and after decontamination and DRF, %

Village	Before May 89	After decontamination			Eff. %
		Oct. 89	1990	June 91	
Yalovka	0.51	0.35	0.31	0.28	31
St. Vyshkov	0.49	0.31	-	0.25	37
Kuznets	0.70	0.57	0.35	0.35	19
Koshany	0.55	0.47	0.35	-	15
Total -742' measurements					26± 5

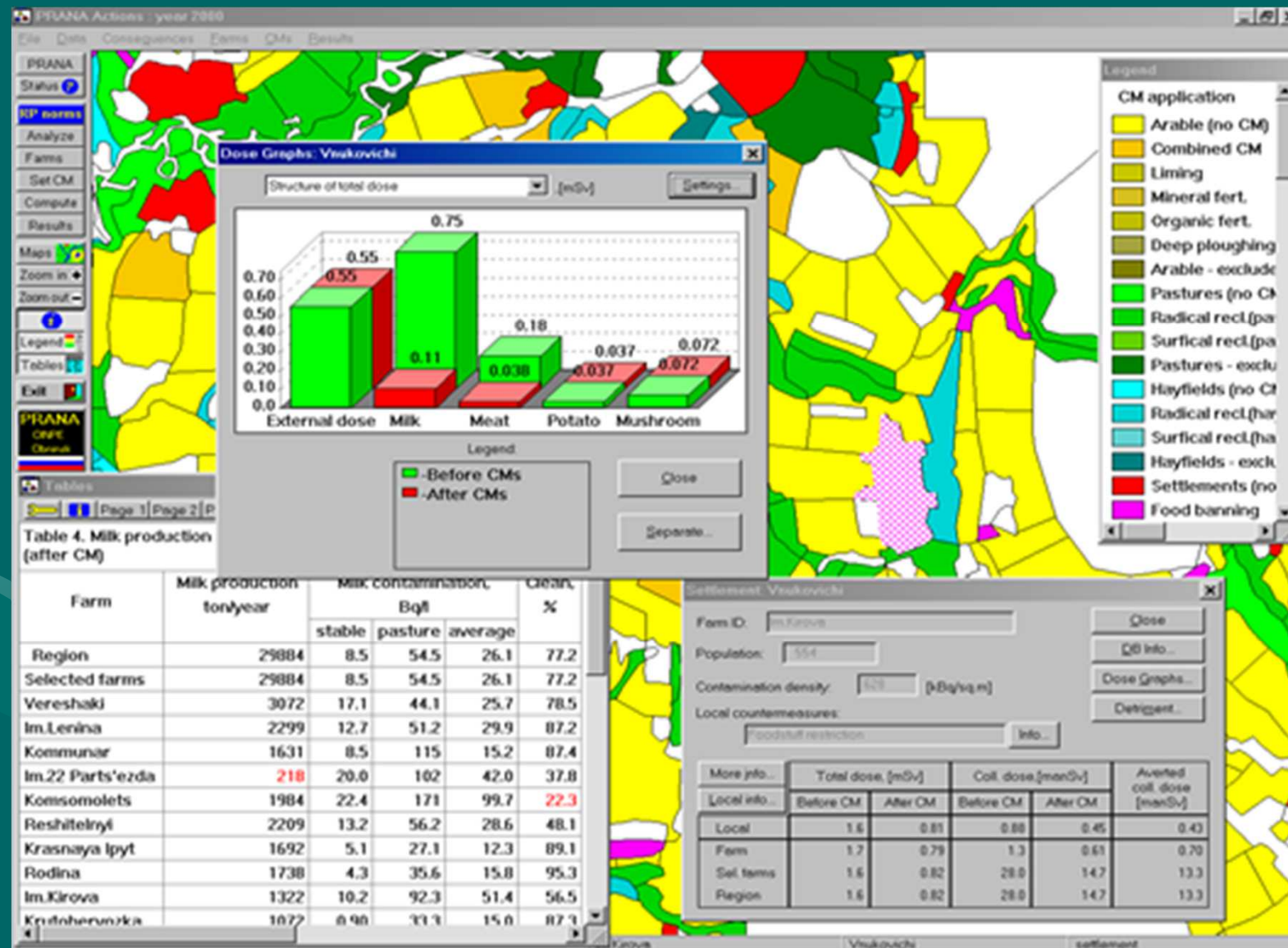
No secondary contamination observed, see data from 1990 and 1991



# $^{137}\text{Cs}$ soil deposition on the polygons of landuse map, Bryansk region, Russia, 1993 [Yatsalo et al 2000]

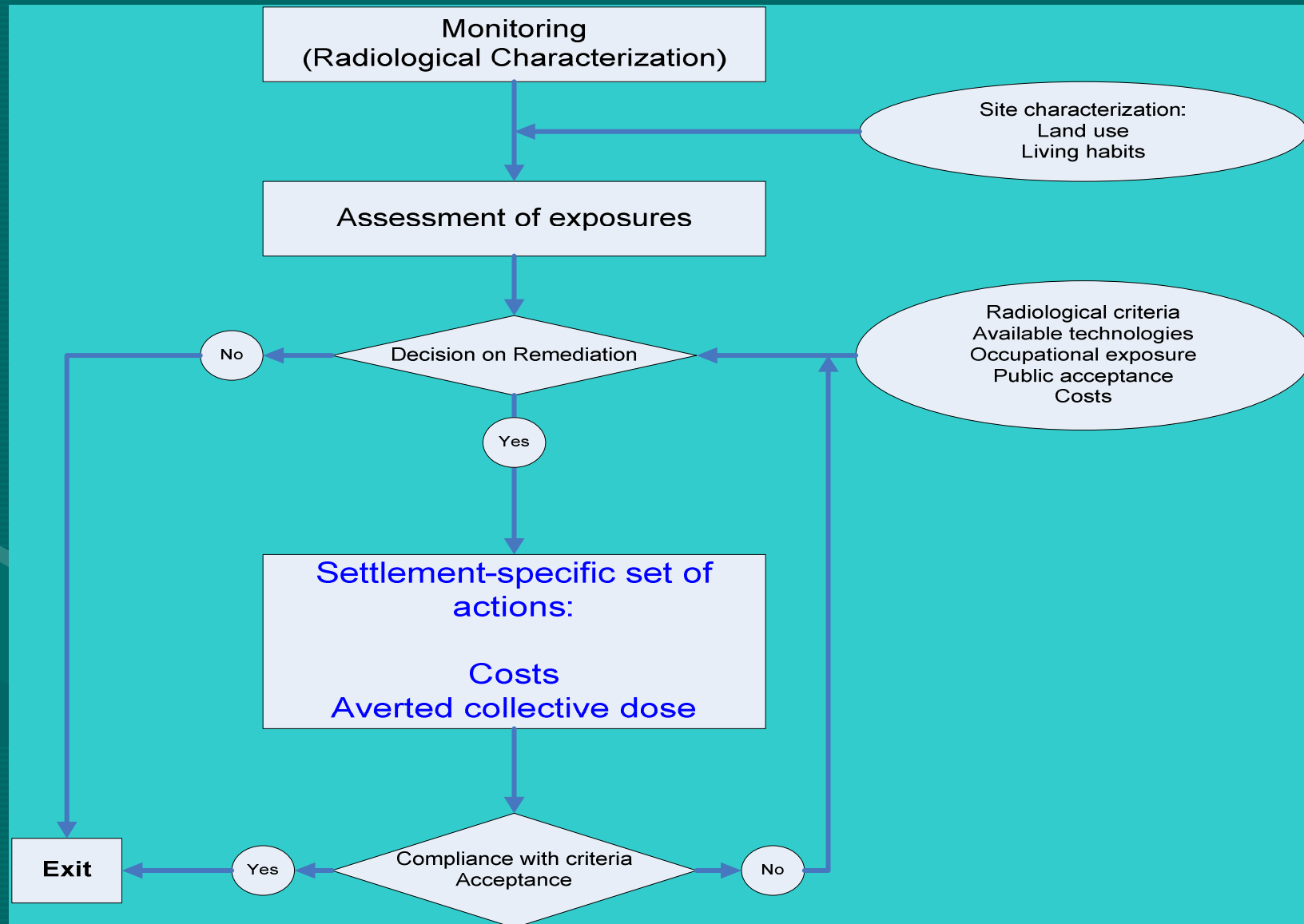


# Interface of PRANA code: pathway contribution to dose before and after remediation [Yatsalo et al 2000]



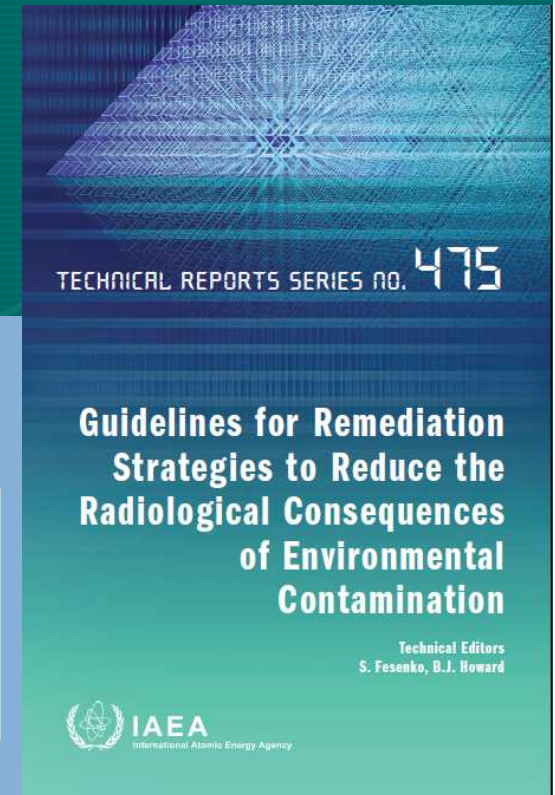
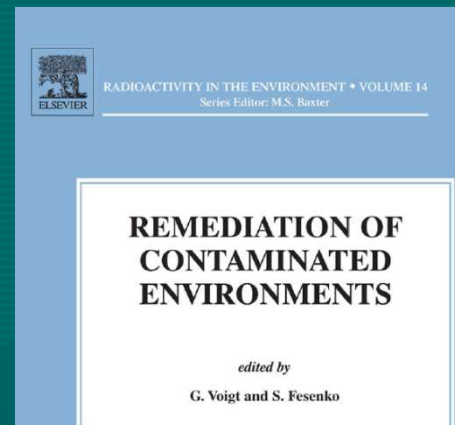


# ReSCA model for optimization of long term post-Chernobyl remediation (Ulanovsky et al. 2010)



# International guidance on environmental remediation

- Developed mostly in order to assist in post-Chernobyl remediation efforts
- National and international research projects
- Summarized by the IAEA as international handbook (TRS №475)



# Conclusions - 1

- Decision on environmental remediation of the inhabited and/or economically used area and optimization of remediation program should be preceded by site and exposure scenario characterization.
- Monitoring grid for remediation purposes should be commensurate with:
  - Non-uniformity of area deposition of radionuclides,
  - Scale of local remediation actions
- The site characteristics obtained from monitoring results should be compared with DRLs calculated from GRLs by means of models with event/area specific parameters.



# Conclusions - 2

- Environmental radiation conditions should be monitored both at the planning and implementation stages and following remediation completion.
- Application of GIS in order to process diverse radiological, environmental and social information proved to be fruitful.
- The following guidance should be elaborated internationally in order to promote justification and optimization of the environmental remediation:
  - Selection of generic reference levels for typical existing exposure situations;
  - Transition from emergency to existing exposure situation.