

Scientific registration n°: 1250

Symposium n°: 25

Presentation: poster

La migration de ^{137}Cs dans les sols contaminés suite à l'accident de Tchernobyl

Migration of the radionuclide ^{137}Cs in the soils contaminated in the result of the Chernobyl accident

KVASNIKOVA Elena (1), **GOLOSOV Valentin** (2), **PANIN Andrey** (2)

(1) Institut du climat global et de l'écologie, Glebovskaya 20-b, 107258 Moscou, Russie

(2) Université Lomonossov de Moscou, Faculte géographique, 119899 Moscou, Russie

A nos jours la contamination radioactive des sols de l'Europe est déterminée par les retombements du ^{137}Cs en résultat d'accident de Tchernobyl à 1986 [1]. L'étude des particularités de la migration dans les sols de ce radionucléide artificiel de longue vie permet d'estimer les dimensions des conséquences du plus grand accident dans l'histoire de l'utilisation de l'énergie atomique, d'effectuer le zonage radioécologique des territoires et d'utiliser les données des mesures radiométriques dans les recherches des processus de l'érosion et du transport des sols.

Dans notre présentation nous allons discuter avant tout la conduite dans les sols du ^{137}Cs comme du radionucléide artificiel le plus répandu actuellement qui a la période de la demi-désintégration - 30 ans.

L'échantillonnage des sols avec l'analyse γ -spectrométrique suivante sert à la fixation du dépôt total du ^{137}Cs dans les retombements radioactifs et à l'estimation du profil vertical de sa pénétration dans les sols.

Les radionucléides artificiels gamma-irradiés (^{137}Cs parmi eux) juste après le retombement se trouvent sur la surface du sol et forment la source plane de l'irradiation qui émet le flux des quanta non-diffusés.

Avec le temps les radionucléides pénètrent dans le sol. Le profil vertical de la distribution du ^{137}Cs se forme pendant les premiers mois après le retombement, ce profil se change très peu ensuite et pendant des dizaines d'années reste stable. Cet aspect a été étudié pendant les recherches consacrées aux retombées radioactives du période avant-Tchernobyl [p.ex., 2, 3]. La pénétration du radionucléide dans le sol influence à la diminution de l'irradiation et comme suite - à la diminution de la puissance de la dose et de la dose effective équivalente extérieure de la population [4].

L'analyse de la variabilité de la distribution verticale du ^{137}Cs dans les géosystèmes différentes a été faite d'après les données recues par les auteurs pendant les expéditions des 2 périodes: 1990-1992 et 1995-1997 (5 et 10 ans après l'accident de Tchernobyl).

1. L'influence de la zonalité géographique à la migration verticale du ^{137}Cs

Pour étudier cet aspect les résultats d'échantillonnage "couche par couche" dans 56 points ont été analysés (les matériels de Dr.E.Kvasnikova [5]). Les points d'échantillonnage se trouvaient sur 7 itinéraires transversaux à la distance 40; 200; 350; 450; 600; 750; 1100 km de la station atomique Tchernobyl le long de l'axe de la trace orientale de la contamination radioactive. Les échantillons ont été pris dans les taches de la contamination élevée ou les niveaux du ^{137}Cs étaient >10 fois plus considérable que les niveaux globaux. Tous les points ont été choisis dans les géosystèmes naturelles des interfleuves ou les particularités zonales étaient bien vues. Dans chaque point 6 échantillons de la profondeur 0-1, 1-2, 2-3, 3-5, 5-10, 10-15 cm ont été pris, le poids de chaque échantillon était 0,8-1,2 kg. Les échantillons préparés spécialement ont subi l'analyse γ -spectrométrique. Les niveaux de la contamination du sol par ^{137}Cs dans ces 56 points étaient pour le juin 1991: 45-1350 kBq/km² avec l'intervalle modal 150-250 kBq/km² (70 % des points).

Parmi ces 56 points: 30 se trouvaient dans les géosystèmes de la zone forestière (les sols podzoliques, gazonnes-podzoliques) et 26 - dans un géosystème de la zone des steppes (chernozems, sols gris forestiers). La frontière de ces deux zones pour les sols est déterminée par le changement du régime prédominant du lavage et de la réaction acide des eaux des sols par le régime prédominant d'évaporation et de la réaction alcali des eaux des sols [6].

Les profils verticaux recus d'après les résultats d'analyse γ -spectrométrique peuvent être approximatés par la ligne exponentielle. Dans ce cas le profil est déterminé par le paramètre de la migration verticale - β et dépend de la quantité intégrale du radionucléide et de la profondeur de sa pénétration:

$$q(z) = Q \beta \exp(-\beta z),$$

où $q(z)$ - la concentration du radionucléide dans le sol, Bq/g; z - la profondeur, g/cm²; Q - le dépôt du radionucléide, Bq/cm²; β - le paramètre de la migration verticale, cm²/g.

L'analyse statistique des profils verticaux dans les 2 massifs de points (de la zone des forêts et de la zone des steppes) montre le changement du paramètre β du 0,1 jusqu'à 10 cm²/g. Les valeurs β les plus répandues sont 1-2 cm²/g. Ces valeurs ont été recues pour les sols limoneux (65 % dans la zone des forêts, 69% dans la zone des steppes). Les valeurs β les plus hautes (2-10 cm²/g) étaient recues pour les sols lourds avec la couverture herbacée épaisse dans la zone des steppes (18 %) comme dans la zone des forêts (15 %). Les valeurs β basses (<1cm²/g) ont été recues pour les sols hydromorphes ou éluviaux: les sols des marécages, les sols sableux (20 % dans la zone des forêts, 13 % dans la zone des steppes).

Les donnees typiques qui presentent la penetration verticale (5 ans apres l'accident) sont montrees dans les tables suivantes.

Table 1. La penetration du ^{137}Cs dans le sol gazonne-podzolique lourd-limoneux sous la foret mixte (la clairiere), la region Kalouga, juin 1991, la contamination integrale (le depot) - 172 kBq/m²

la couche, cm	% du depot	% du depot dans la couche 0-5 cm et 5-15 cm
0-1	52	90
1-2	20	
2-3	11	
3-5	7	
5-10	6	10
10-15	4	

Table 2. La penetration du ^{137}Cs dans le sol gazonne-podzolique leger-limoneux sous la foret de pin (la lisiere), la region Bryansk, septembre 1991, la contamination integrale (le depot) - 201 kBq/m²

la couche, cm	% du depot	% du depot dans la couche 0-5 cm et 5-15 cm
0-1	26	71
1-2	17	
2-3	11	
3-5	16	
5-10	17	29
10-15	12	

Table 3. La penetration du ^{137}Cs dans le sol chernozeme, lourd-limoneux, sous la prairie, la region Orel, juillet 1991, la contamination integrale (le depot) - 155 kBq/m²

la couche, cm	% du depot	% du depot dans la couche 0-5 cm et 5-15 cm
0-1	51	89
1-2	19	
2-3	12	
3-5	9	
5-10	7	9
10-15	2	

Les tables 1 et 2 montrent la situation dans la zone des forets: dans la couche superieure 0-5 cm du sol gazonne-podzolique lourd se trouve 90 % de l'activite totale; dans la meme couche du sol gazonne-podzolique leger se trouve 71 % de l'activite totale. La table 3 montre la situation dans la zone des steppes qui est pareille a celle dans la zone

forestiere (table 1): les types des sols sont differents mais le contenu mecanique est le meme.

La conclusion principale: l'absence du lien considerable de la migration verticale du ^{137}Cs avec les conditions zonaux. Au contraire on peut voir le lien entre la migration verticale du ^{137}Cs avec les facteurs azonaux: le contenu mecanique du sol, l'irrigation naturelle de la geosysteme.

2. La difference de la migration verticale du ^{137}Cs dans les geosystemes naturelles de la foret et de la prairie

Cette difference s'explique par le fait que dans les echantillons pris dans la foret la grande partie des radionucleides se concentre dans le gazon et dans la couverture morte du sol. On pourrait supposer la meme situation dans les geosystemes des prairies naturelles. Par ailleurs, c'est tres difficile de trouver a la Russie centrale les geosystemes des prairies sans influence du paturage qui mene a la destruction des couches superieures des sols, au melange de ces couches et au emportation de la partie du materiel du sol par les pates des animaux.

Il est remarquable que le profil vertical du ^{137}Cs dans le sol de la foret dans 10 ans apres l'accident reste presque le meme que dans 5 ans apres l'accident. Neanmoins, le profil exponentiel du ^{137}Cs dans le sol de la prairie se modifie souvent par la penetration du maximum a la profondeur 2-5 cm ce que etait observe par les auteurs pendant les expeditions de 1995-97 dans la region Toula.

Comme l'illustration de la penetration du ^{137}Cs dans le sol non-laboure les donnees de l'echantillonnage du sol "couche par couche" (octobre 1996) sont presentees dans les tables 4 et 5 ou on peut examiner les certaines differences entre la distribution verticale du radionucleide dans le sol de la foret et du paturage. Les point de l'echantillonnage se trouvaient dans 1,2 km l'un de l'autre dans la region Toula (500 km de la station atomique Tchernobyl).

La conclusion: l'influence du paturage provoque le changement du profil vertical du ^{137}Cs dans le sol; le depot total se redistribue avec la diminution de l'activite dans la couche superieure 0-5 cm du 80-90 % (ce que est typique pour les sols limoneux) jusque'a 55 % et avec l'augmentation considerable de l'activite dans la couche 5-10 cm.

Table 4. La penetration du ^{137}Cs dans le sol gris forestier limoneux, sous la foret feuillue, la region Toula, octobre 1996, la contamination integrale (le depot) - 196 kBq/m²

la couche, cm	% du depot	% du depot dans la couche 0-5 cm et 5-15 cm
0-2	50,6	82,7
2-5	32,1	
5-10	13,0	17,3
10-15	2,9	
15-20	1,4	

Table 5. La penetration du ^{137}Cs dans le sol chernozeme, limoneux, sous la prairie d'herbes diverses, la region Toula, octobre 1996, la contamination integrale (le depot) - 448 kBq/m²

la couche, cm	% du depot	% du depot dans la couche 0-5 cm et 5-15 cm
0-2	9,5	54,7
2-5	45,2	
5-10	33,7	45,3
10-15	8,0	
15-20	3,6	

3. La distribution verticale du ^{137}Cs dans les sols laboures

Le profil pour les sols laboures est decrit par la profondeur L jusqu'a laquelle la quantite du radionucleide est melangee regulierement. Pour les champs de la Russie centrale en regle generale cette profondeur est 20-30 cm. D'apres 12 point d'echantillonnage sur les differentes terres agricoles de la region Toula ou les couches 0-30 et 30-40 cm ont ete prises en 1996-97 on peut constater que dans la couche sous-labouree se concentre actuellement 8-11 % de l'activite totale du ^{137}Cs .

4. La redistribution verticale du ^{137}Cs dans les sols des geosystemes avec l'influence des processus d'erosion et d'accumulation

Dans les sols des geosystemes ou les processus de la redistribution du sol jouent le role grave (p.ex, les sols des fonds des vallees seches, ces pentes, les barrieres geochemiques de la frontiere "champ-prairie" en bas de la pente de l'interfleuve) la distribution du ^{137}Cs n'est pas proche a la ligne exponentielle. Le profil vertical dans les geosystemes d'accumulation se releve par le materiel du sol transporte avec le contenu du ^{137}Cs appauvri; dans les geosystemes d'erosion le profil vertical exponentiel perd la couche superieure la plus contaminee [6]. Pendant les expeditions de 1996-97 l'echantillonnage "couche par couche" a ete faite dans les 15 differentes geosystemes des pentes et du fond de la vallee seche (afluent de la riviere Lokna, region Toula). L'etude parallele de la migration du ^{137}Cs et des processus d'erosion se continue actuellement et donne les explications des changements des profils verticaux des radionucleides dans les sols.

Dans la table 6 les donnees sur la distribution verticale du ^{137}Cs sont montrees pour le sol du fond de la vallee seche (les chernozemes alluvionnes) avec les signes de l'accumulation considerable. Le maximum de l'activite se trouve a la profondeur 12-15 cm, 67,5 % de l'activite totale se trouve dans la couche 6-18 cm.

Table 6. La redistribution du ^{137}Cs dans le sol chernozeme, limoneux, sous la prairie d'herbes diverses dans le fond de la vallee seche, la region Toula, juin 1997, la contamination integrale (le depot) - 444 kBq/m²

la couche, cm	% du depot
0-3	8,0
3-6	9,5
6-9	13,5
9-12	14,3
12-15	21,6
15-18	18,1
18-21	7,2
21-25	3,8
25-30	1,9
30-35	0,9
35-40	0,4
40-45	0,4
45-50	0,4

D'apres ces donnees nous pouvons constater le relevement de la pellicule des retombes primaires par la couche du sol de ~ 13 cm transporte ici apres 1986 (c.t.d. pendant 11 ans, plus de 1 cm par an). Nous pouvons supposer aussi la diminution considerable de la dose exterieure pour les geans qui travaille dans cette endroit. Mais en meme temp le depot total du ^{137}Cs s'augmente dans cette geosysteme en resultat du transport des radionucleides supplementaires des autres geosystemes des pentes et des interfleuves. C'est pourquoi en meme temp nous pourrions supposer l'augmentation considerable de la dose interieure de la population si la geosysteme analogique etait occupee par le potager individuel et l'augmentation de la contamination des herbes et du lait des vaches paturees dans cet endroit.

Le materiel presente donne l'information grave aux estimations de la puissance de la dose de gamma-irradiation du ^{137}Cs dans les differentes geosystemes [4, 7]. D'apres les calculations les valeurs de la puissance de la dose sur h=1 m du niveau du sol pour l'ete 1998 pour la meme contamination integrale par ^{137}Cs pourront etre: 1,4 fois plus petits dans les geosystemes naturelles des interfleuves avec les sols legers qu'avec les sols lourds; 1,4 fois plus petits dans les geosystemes utilisees comme paturage que dans les geosystemes sans cette type de l'utilisation; 4 fois plus petit dans les geosystemes labourees que dans les geosystemes non-labourees; 3,5 fois plus petit dans les geosystemes avec une accumulation 1 cm du materiel du sol par an.

Les recherches des dernieres annees sont soutenu par INTAS-RFBR, 95-0734.

References

1. Tsaturov Yu.S., Izrael Yu.A., Fridman Sh.D., Kvasnikova E.V., Stukin E.D., M.De Cort, A.R.Jones et all. Atlas on caesium contamination of Europe after the Chernobyl nuclear plant accident. Final report. Luxembourg.Office for Official Publications of the European Communities, 1996, ISBN 92-827-5208-9.
2. Pavlotskaya F.I. La migration des produits radioactifs des retombes globaux dans les sols.- Moscou: Atomizdat,1974, 216 p.
3. Baturin V.A. La migration verticale des radionucleides dans les sols de la trace d'Oural Oriental et son influence a l'intensite de l'irradiation emanee. - Energie atomique, 1997, vol.82, ed.1, p.44-48.
4. Kogan R.M., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Les principes de la gamma-spectrometrie de l'environnement. Moscou: Energoatomizdat, 1991, 233 p.
5. Kvasnikova E.V. Les particularites spaciales de la contamination radioactive des terres par ^{137}Cs sur la partie europeenne de la Russie et dans les pays du proche voisinage. These du doct. des sciences geogr., specialite "la protection de l'environnement", Moscou: Institut du climat global et de l'ecologie, 1993, 176 p.
6. Perelman A.I., Borisenko E.N., Langue E.K., Samonov A.E., Sysoev A.N. La methodologie de la composition des cartes geochemiques des territoires contaminees par les radionucleides. - Geochimie, N 7, 1993, p.1004-1013.
7. Fridman Sh.D., Kvasnikova E.V., Glushko O.V., Golosov V.N., Ivanova N.N. La migration du ^{137}Cs dans les geosystemes liees de la haute plaine de la Russie Centrale. - **La meteorologie et l'hydrologie, 1997, ¹ 5, p.45-55.**
8. Kvasnikova E.V., Nazarov I.M., Pegoev A.N., Fridman Ch.D. Les donnees sur la penetration du ^{137}Cs dans le sol pendant la calculation de la puissance de la dose expositionnelle a l'hauteur 1 m de la surface contaminee. Dans: Les techniques et les certains resultats de la gamma-surveillance aerienne de la contamination radioactive de la territoire Europeenne de la Russie. - Sankt-Petersbourg: Gidrometeoizdat, 1994, p.254-257.

Key words: ^{137}Cs , migration, soil

Mots cles: ^{137}Cs , migration, sol