

4. Сулова С. Б., Шилькрот Г. С., Кудерина Т. М. Многолетняя динамика химического состава поверхностных и грунтовых вод бассейна озера Селигер // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Тр. 4-ой Всеросс. науч. конф. с международ. участием. Москва, 15–18 сент. 2015 г. М., 2015, С. 451–453.

5. Шилькрот Г. С. О миграции фосфора и других химических элементов с грунтовым стоком в сельских ландшафтах // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.». Петрозаводск: Карельский н. центр РАН, 2015. С. 386–394.

6. Шилькрот Г. С., Труфанов Н. В. Экология малых озёр в Косино (Москва) в условиях урбанизированной среды // Проблемы региональной экологии. 2014. № 1. С. 104–110.

УДК 550.4

## РАДОНОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВОВ ЮЖНОГО ПОЛЕСЬЯ

А. В. Шабатура<sup>1</sup>, Ю. Г. Тютюнник<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии Киевского национального университета,  
ул. Васильковская 90, 03022 Киев, Украина; dard@ukr.net

<sup>2</sup> Институт эволюционной экологии НАН Украины, ул. акад. Лебедева 37,  
03143 Киев, Украина; carmel@mail.ru

При рассмотрении вопроса формирования уровней  $R_n$  в воздухе жилых помещений необходимо учитывать все возможные источники его поступления. Наиболее значимый фактор, обуславливающий проникновение  $R_n$  в подвальное или непосредственно в жилое пространство, – приток почвенного газа. Только в редких случаях повышенное содержание  $R_n$  в воздухе жилых помещений может быть связано с его эксхалацией из строительных материалов, систем водо- или газоснабжения. Как правило, геогенный  $R_n$ , то есть  $R_n$ , поступающий с земли, имеет преимущественно почвенное происхождение. Глубинные потоки  $R_n$ , создающие высокие концентрации в почвах имеют место в связи со специфической геологической ситуацией. С этих позиций понятен тезис, что в большинстве случаев высокие концентрации  $R_n$  в воздухе помещения зависят не от абсолютного его содержания в почвенном газе, а от транспортных и ёмкостных свойств почв.

В качестве объектов исследований, связанных с оценкой радонопроницаемости, выбраны ведущие типы почв Южного Полесья (геоэкологический полигон «Бучанский» Ирпень-Буча-Ворзельской рекреационной зоны г. Киева; табл.).

В комплексе изучения почвенных покровов проводились измерения объёмной активности  $R_n$  (ОАР) и еще ряд геофизических исследований (табл.). Концентрация  $R_n$  в верхних почвенных горизонтах сильно зависит от действия внешних факторов (погодные и временные колебания температуры, барометрического давления, нарушенная структура верхних слоев). Для исключения этих неопределённостей измерения проводились на глубинах 70–90 см.

Радонопроницаемость почв – комплексная характеристика, позволяющая оценить способность к перемещению  $R_n$  в газовой форме. Очевидно, что пористые и проницаемые почвы имеют наибольшие её показатели.

Распределение  $R_n$  между почвенными фазами определяется структурой, текстурой, пористостью, связностью, проницаемостью, влагоёмкостью почв. Перемещение  $R_n$ , реализующееся главным образом через молекулярную диффузию и конвекцию, сильно зависит от пористости, гранулометрического состава и, в меньшей мере, от радиогенных источников  $R_n$  и влажности.

Кроме почв супераквальных ландшафтов, развиты преимущественно песчанистые разновидности с средней и высокой пористостью и проницаемостью. Характерна сильная изменчивость величины коэффициента эманирования ( $K$ ). Для целинных или богатых органикой почв  $K R_n$  составляет 0,46, для суглинисто-глинистых почв – 0,22 (мод – 0,2).

Прослеживается коррелируемость между содержанием обменных катионов, сорбционной ёмкостью почв и ОАР. Железо- и марганцевые оксиды и гидрооксиды играют важную роль в адсорбционных процессах Ra. Часто наблюдается ситуация, когда процессы растворения и адсорбции радийсодержащих веществ приводят к вторичной его аккумуляции на поверхности частичек почв и формированию «эманирующих коллекторов». Низкие и умеренные концентрации Ra в почвах приводят к высоким концентрациям  $R_n$ , если Ra адсорбирован на поверхности зёрен. А уменьшение  $K$  в почвенные

горизонтах А и Е, в сравнении с материнским или дерново-гумусовыми горизонтами, объясняется вымыванием Fe из этих горизонтов.

Таблица – Физико-химические и водно-фильтрационные характеристики ведущих типов почв Южного Полесья

Тип почв		I	II	III	
Индекс почвенного горизонта		I <sub>гп</sub>	P <sub>г</sub>	P <sub>ггг</sub>	
Глубина, см		50–76	80–89	12–50	
Содержание глинистых частиц <0,01 мм, %		9,21	7,30	8,9	
Плотность, г/см <sup>3</sup>		1,48	1,63	–	
Коэффициент фильтрации, м <sup>3</sup> /сутки		7,15	14,3	–	
Ёмкость ППК, мг-экв/100г		2,8	1,8	–	
Содержание обменных катионов, мг-экв/100г		Ca <sup>2+</sup>	0,38	8,45	–
		K <sup>+</sup>	0,034	0,5	–
		Mg <sup>2+</sup>	–	0,4	–
		Fe <sup>2+</sup>	0,79	–	–
Сорбционная ёмкость почв, мг/г		Cs	0,11	0,04	–
		Sr	0,05	0,05	–
		Zn	0,42	0,16	–
		Cu	0,25	0,03	–
Физические параметры	Мощность экспозиционной дозы, мкР/час	мин	8,3	6	5,9
		сред.	10,5	7,1	7,9
		макс.	12	7,8	9,3
	Удельная активность радона, Бк/м <sup>3</sup>	мин.	2,3	1,5	0,6
		сред.	4,2	3,24	1,5
		макс.	5,4	5,29	2,4

Примечание. Тип почв: I – дерново слабоподзолистые пыльно-песчаные трансэлювиальных ландшафтов с дерново-слабоподзолистыми легкосуглинистыми почвами; II – дерново-боровые пыльно-песчаные элювиальных ландшафтов с слабоподзолистыми песчаными и дерново-боровыми почвами, III – лугово-болотные супесчаные супераквальных ландшафтов с лугово-болотными и торфяно-болотными почвами. Характеристика геоэлектрических слоёв: а – легкосуглинистый (супесчаный), влажный; b – супесчаный и песчаный, сухой; с – суглинистый, водонасыщенный.

Коэффициент фильтрации показывает обратную зависимость с ОАР. Увеличение фильтрации приводит к лучшей вентилируемости пустотного пространства почв и, так образом, разубоживанию почвенного Rn.

Влияние влажности на величину ОАР в почве проявляться двояко. Увеличение влажности почв уменьшает вероятность связывания Rn в прилегающем зерне частицы почвы (вода более плотная среда, нежели воздух). Однако слишком большая влажность может блокировать почвенные поры и принуждать Rn перемещаться через почву. В большинстве случаев влажные системы имеют большую эманулирующую эффективность, чем сухие. С другой стороны, транспортная функция Rn во влажных системах снижена в сравнении с сухими.

Пористые и проницаемые среды благоприятны для перемещения Rn в газовой форме, а влажность почв приводит к увеличению растворения Rn в водной фазе, вовлекая его в транспорт, тем самым уменьшая значения молекулярной диффузии и адвекции.

Ключевая роль транспорта Rn в почвах и горных породах подчеркивается положительной корреляционной связью между коэффициентом диффузии и воздушной проницаемостью почв.

Таким образом, оценку радонопроницаемости почв можно представить в виде отношения:

$$C_{Rn} = \frac{A_{Rn}^{DvW} + A_{Rn}^J}{A_{Rn}^{max} + A_{Rn}^{ab}}, \quad (1)$$

где  $C_{Ra}$  – относительная радоноёмкость почвы,  $A_{Rn}^{ab}$  – ОАР формирующаяся с потока Rn, поступающего из нижележащих слоёв;  $A_{Rn}^{DvW}$  – мобильная часть Rn, которая формируется за счёт молекулярной диффузии  $D$ , адвекции  $v$ ,  $W$  – растворение в воде,  $J$  – ОАР, реализующаяся в виде эксхалации;  $A_{Rn}^{max}$  – максимальная концентрация Rn, формирующаяся за счёт аутигенного Ra  $A_{Ra}$  :

$$C_{Ra} = \frac{KA_{Ra}\rho(1-\eta)}{\eta}, \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент эманирования (в среднем для почв 0,2–0,25),  $A_{Ra}$  – содержание  $^{226}\text{Ra}$  в почве (в среднем 30 Бк/кг);  $\rho$  – плотность минерального скелета,  $\eta$  – пористость, дол. ед.

Компонента  $A_{Rn}^{ab}$  для исследованных почв имеет незначительный вес, поскольку поступление  $Rn$  глубинного происхождения ограничивается высокой мощностью наносов и их низкими или средними показателями газовой проницаемости. В стационарных условиях, учитывая среднее значение эффективного объёмного коэффициента диффузии  $0,03 \text{ см}^2/\text{с}$  и скорость адвекционного переноса  $Rn$  в  $10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ , составляющая глубинного  $Rn$  будет менее 1/1000 в общем балансе  $Rn$  в почве.

Лёгкий гранулометрический состав наиболее представительных типов почв Южного Полесья формирует их высокую радонопроницаемость и способствует его транспортированию и формированию высоких плотностей потока в атмосферу. Повышение содержания глинистых и органических компонентов, наоборот, снижает. Происхождение  $Rn$  преимущественно почвенное. ОАР подвержена сильным вариациям от влияния внешних и внутренних факторов, по степени значимости которые располагаются в ряду: влажность, обводнённость, барометрическое давление, структура почвенных горизонтов, температура.