

УДК 551.4:57.049(571.1)

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАДОНООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ НЕКОТОРЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Токарева А.Ю., Алимова Г.С.

*ФГБУН «Тобольская комплексная научная станция» Уральского отделения  
Российской академии наук, Тобольск, e-mail: aytokareva@list.ru*

Радон – это радиоактивный газ, образующийся при радиоактивном распаде  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в литосфере и влияющий на процессы образования раковых клеток в легких человека. Поэтому изучение радоноопасности почв актуально при планировании жилищных застроек. Целью работы является сравнение степени радоноопасности территорий трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинской низменности, Тобольского материка, Среднеиртышская низменность. Для достижения поставленной цели применен показатель – плотность потока радона. В рамках исследования с помощью измерительного комплекса «Камера-01» проведено определение плотности потока радона с поверхности почвы и на глубине 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 м в 24 точках, расположенных в пойме магистральных рек – Иртыш и Тобол. В результате получены современные данные по радоноопасности почв вблизи населенных пунктов в границах Тобольского, Вагайского и Ярковского районов Тюменской области. Выявлено, что на всех исследованных территориях плотность потока радона уменьшается от глубины к поверхности почвы. Высокие показатели (максимальное значение – 729 мБк/м<sup>2</sup>·с) на глубине до 1 м свидетельствуют о наличии «материнских» минералов в грунтах. На всех исследованных территориях плотность потока радона не превышает 80 мБк/м<sup>2</sup>·с на поверхности почвы, что соответствует первому классу – низкому уровню радоноопасности. Впервые на исследуемых территориях установлено, что наибольшими значениями плотности потока радона на глубине до 1 м отличаются почвы Тобольского материка, представляющие собой по гранулометрическому составу: супесь (154 мБк/м<sup>2</sup>·с), легкие суглинки (110 мБк/м<sup>2</sup>·с), средние суглинки (188 мБк/м<sup>2</sup>·с) и тяжелые суглинки (172 мБк/м<sup>2</sup>·с).

**Ключевые слова:** радон, плотность потока радона, гранулометрический состав, Кондинская низменность, Тобольский материк, Среднеиртышская низменность, Тобольск, почва

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF RADON HAZARD OF TERRITORIES OF SOME GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURES OF THE WEST SIBERIAN LOWLAND

Tokareva A.Yu., Alimova G.S.

*Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Tobolsk, e-mail: aytokareva@list.ru*

Radon is a radioactive gas produced by the radioactive decay of  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in the lithosphere. It affects the formation of cancer cells in the human lungs. Therefore, the study of soil radon hazard is relevant when planning housing developments. The aim of the work is to compare the degree of radon hazard of the territories of three geomorphological structures of the West Siberian lowland: the Kondinskaya lowland, the Tobolsk mainland, the middle Irtysh lowland. To achieve this goal, the indicator – radon flux density – was applied. As part of the study, using the measuring complex «Camera-01», radon flux density was determined from the soil surface and at a depth of 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1 m at 24 points located in the floodplain of the main rivers – Irtysh and Tobol. As a result, modern data on radon hazard of soils near settlements within the boundaries of Tobolsk, Vagay and Yarkovsky districts of the Tyumen region were obtained. It was revealed that in all the studied territories the radon flux density decreases from the depth to the soil surface. High indicators (maximum value – 729 mBq/m<sup>2</sup>·s) at a depth of 1 m, indicate the presence of «parent» minerals in the soil. In all the studied areas, the radon flux density does not exceed 80 mBq/m<sup>2</sup>·s on the soil surface, which corresponds to the first class – a low level of radon hazard. For the first time in the studied territories it was found that the greatest values of radon flux density are different soils of the Tobolsk continent, which are granulometric composition: sandy loam (154 mBq/m<sup>2</sup>·s), light loam (110 mBq/m<sup>2</sup>·s), medium loam (188 mBq/m<sup>2</sup>·s) and heavy loam (172 mBq/m<sup>2</sup>·s) at a depth of up to 1 m.

**Keywords:** radon, radon flux density, granulometric composition, Kondinskaya lowland, Tobolsk mainland, middle Irtysh lowland, Tobolsk, soil

Земная кора с самого начала своего образования содержит естественные радиоактивные элементы, создающие естественный радиационный фон. Вклад радона в формирование дозы облучения человека в процессе его жизни от естественных источников оценивается в 54% [1]. Радон – бесцветный инертный газ; радиоактивен. Наиболее стабильный изотоп ( $^{222}\text{Rn}$ ) имеет период полу-

распада 3,8 суток. Входит в состав радиоактивных рядов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Ядра радона постоянно возникают в природе при радиоактивном распаде материнских ядер. Ввиду химической инертности радон относительно легко покидает кристаллическую решётку «родительского» минерала и попадает в подземные воды, природные газы и воздух. Негативный эффект от облуче-

ния радоном связан с индуцированием рака легкого и преждевременной смертью от этого заболевания [2]. В приземном слое атмосферы влияние радона и его продуктов распада на здоровье населения значительно, поскольку основным источником их выделения является почва. Величиной, характеризующей радоновую опасность грунта, является плотность потока радона (ППР), она указывает на интенсивность выхода газа на земную поверхность [3, 4]. Многочисленные исследования почвенного радона указывают на то, что величина его параметров, прежде всего, зависит от геологической обстановки, так, граниты, в которых много урана, являются активными источниками радона. На концентрацию газа оказывают влияние и иные характеристики почв, такие как гранулометрический состав, пористость, плотность, влажность и т.д. [1].

Город Тобольск находится на стыке трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Тобольского материка, Кондинской и Среднеиртышской низменностей. Исследованные территории принадлежат центральной части Западно-Сибирской равнины, которая характеризуется почти плоским рельефом. Незначительная амплитуда тектонических подвижек послужила причиной низменного гипсометрического статуса равнины. Тобольский материк – это приподнятая по отношению к окружающей её территории равнина, имеющая общий региональный уклон на север, в сторону р. Иртыш повсеместно заканчивается обрывом высотой 40–60 м, над уровнем реки, рассечена правыми притоками Иртыша, наиболее крупные – Демьянка и Туртас. На большей части равнина плоская, что замедляет сброс воды, междуречья плохо дренированы и сильно заболочены [5]. Левый берег р. Иртыш подзоны южной тайги занимают смыкающиеся между собой низменности – Среднеиртышская и Кондинская. Они схожи между собой по строению и представлены современной поймой, низкими надпойменными террасами и пониженными равнинами. Более низкое положение занимает Кондинская. Обе равнины плоские, имеют небольшой региональный уклон в сторону р. Иртыш, отсюда сброс воды реками очень затруднен. Эрозийная сеть здесь практически отсутствует. Степень заболоченности равнин значительно выше, чем на Тобольском материке, особенно в Кондинской низменности [5].

При сравнении степени радоноопасности территорий, помимо геологической

обстановки наиболее значимыми являются физические свойства почвы, которые определяют способность радона высвободиться на поверхность. Ввиду своей инертности атомы радона не вступают в химическое взаимодействие с элементами почвы, но способны адсорбироваться на глинистых частицах, хорошо растворяются в воде. Экхалация (выделение) радона из почвы осуществляется двумя путями: за счет отдачи и за счет диффузии. Поступление радона в поры почвы за счет эффекта отдачи определяется энергией распада материнского нуклида, величиной площади внутренней поверхности пор, развитостью рельефа пор и влагонасыщенностью пор почвы. Экхалация за счет диффузии осуществляется путем миграции радона по веществу почвы и диффузией по порам [6].

Цель исследования: сравнение степени радоноопасности территорий трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность, Тобольский материк, Среднеиртышская низменность.

#### Материалы и методы исследования

В рамках исследования проведено определение плотности потока радона с поверхности почвы и на глубине 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 м в 24 точках, расположенных в пойме магистральных рек – Иртыш и Тобол в границах Тобольского, Вагайского и Ярково-ского районов Тюменской области. Исследованная территория принадлежит трем геоморфологическим структурам Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность (точки 1–2), Тобольский материк (точки 3–12), Среднеиртышская низменность (точки 13–24) (рис. 1).

Измерения плотности потока радона в почвах выполнены комплексом для мониторинга радона «КАМЕРА-01» в соответствии с руководством пользователя и МУ 2.6.1.038-2015 «Оценка потенциальной радоноопасности земельных участков под строительство жилых, общественных и производственных зданий».

Исследования проводились в период с 25 июня по 12 июля 2018 г. при отсутствии атмосферных осадков, температура воздуха 23–30 °С, атмосферное давление 746–761 мм рт. ст., время экспозиции не менее 3 ч. Методологические основы изучения плотности потока радона заключаются в прямом измерении посредством поверенных средств измерений – комплексов измерительных по мониторингу радо-

на, как в России, так и за рубежом [1, 3]. Самыми информативными для решения задач радонового контроля являются глубины до 1 м [7]. Общее количество измерений  $Q$  в почвах – 447. Географические координаты исследуемых точек определены навигатором GPSMAP 62s. Гранулометрический состав исследуемых почв определен по методу Рутковского, их классификация – по Н.А. Качинскому. Статистический анализ проведен в программе EXCEL.

### Результаты исследования и их обсуждения

На всей исследованной территории значения ППР уменьшаются от глубины 100–60 см к поверхности почвы (рис. 2). Максимальные значения отмечены на Тобольском материке в легких суглинках на глубине 1 м – 609 мБк/м<sup>2</sup>·с, на Среднеиртышской низменности на глубине 1 м – 729 мБк/м<sup>2</sup>·с в тяжелых суглинках. Это обусловлено тем, что суглинистые почвы обладают большей плотностью и высокими сорбционными свойствами, что препятствует выходу газа на поверхность почвы. На меньших глубинах радон рассеивается в атмосферном воздухе [1]. На поверхности почвы во всех точках измерений

ППР не превышает 80 мБк/м<sup>2</sup>·с, что соответствует первому классу радоноопасности в соответствии с ОСПОРБ 99/2010.

Почвообразующими породами исследуемых геоморфологических структур являются поверхностные отложения четвертичных пород единого генезиса и условий залегания. В целом это преимущественно озерно-аллювиальные отложения. После их формирования поверхностная часть претерпела изменения под воздействием геологических и климатических факторов [5]. Свойства этих пород имеют довольно строгую зависимость от высотного уровня [5], что подтверждают результаты исследования. Почвы Кондинской низменности в большинстве представляют супеси и легкие и средние суглинки (таблица). Тобольский материк и Среднеиртышская низменность характеризуются суглинистыми почвами (легкими, средними и тяжелыми суглинками). В супесчаных почвах, а также легких, средних и тяжелых суглинках ППР распределена следующим образом: Тобольский материк > Среднеиртышская низменность > Кондинская низменность (рис. 3). Кондинская низменность занимает наиболее низкое положение на высотном уровне и наиболее других заболочена.



Рис. 1. Районы исследования плотности потока радона в почве на глубине 0–1 м:  
 — Границы геоморфологических районов (по Л.Н. Каретину) [5]  
 ■ Точки определения плотности потока радона

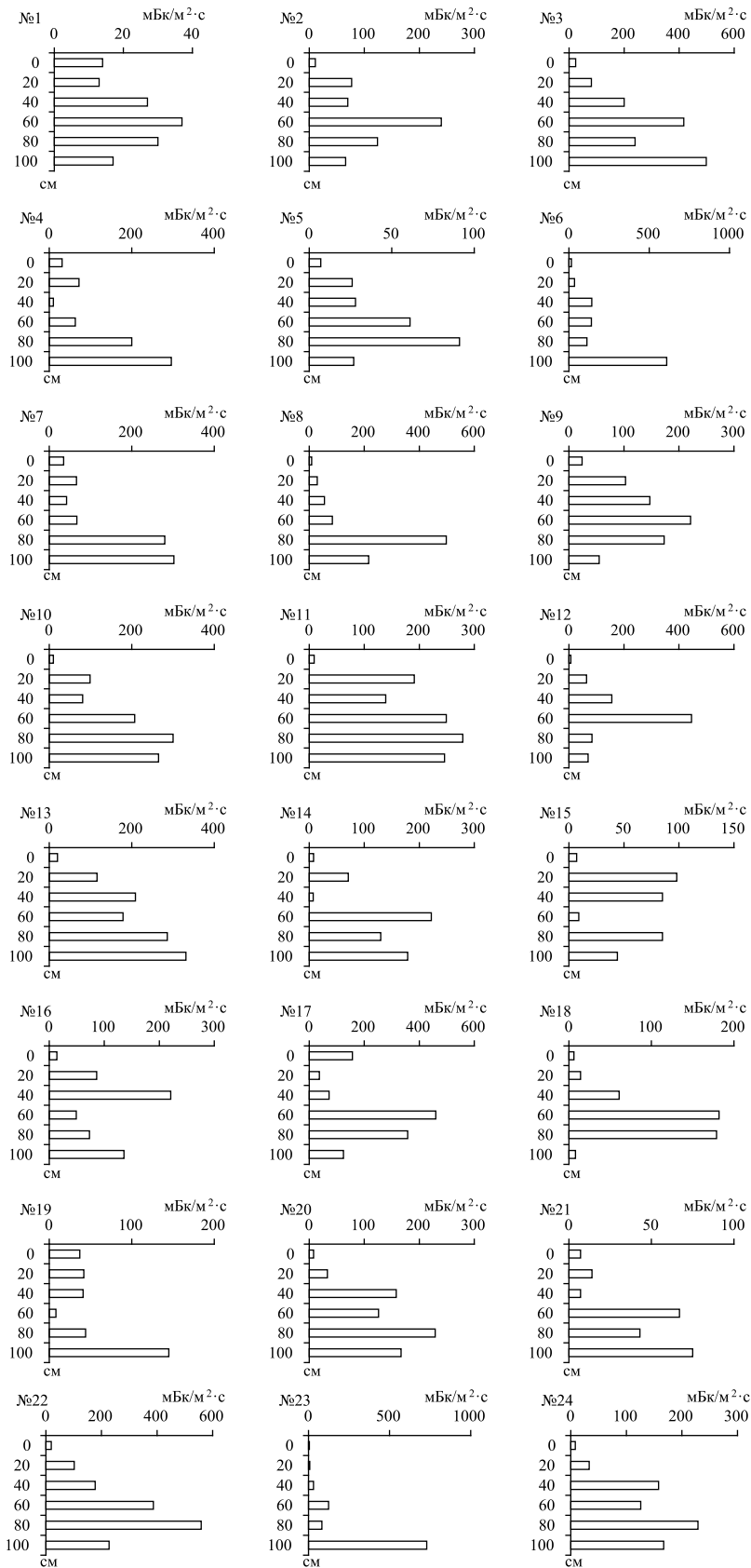


Рис. 2. Плотность потока радона в почвах на глубине до 1 м в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность (точки № 1–2), Тобольский материк (точки № 3–12), Среднеуртышская низменность (точки № 13–24)

Процентное соотношение проб почв по гранулометрическому составу отобранных по профилю в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинской низменности, Тобольского материка, Среднеиртышской низменности (%)

Гранулометрический состав почвы, %	Геоморфологические структуры Западно-Сибирской низменности		
	Кондинская низменность	Тобольский материк	Среднеиртышская низменность
Песок	0	11	14
Супесь	40	12	10
Легкий суглинок	27	28	21
Средний суглинок	33	23	25
Тяжелый суглинок	0	26	30



Рис. 3. Среднее значение плотности потока радона, мБк/(м²·с) в почвах различного гранулометрического состава в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности: Кондинская низменность, Тобольский материк, Среднеиртышская низменность

Полученные в ходе исследования данные лежат в одном числовом диапазоне и не имеют ярко выраженных различий, что обусловлено схожестью рельефа и геологического строения исследуемых геоморфологических структур, а также незначительной амплитудой тектонических подвижек. Высокие показатели ППР на глубине до 100 см свидетельствуют о наличии «материнских» минералов в грунтах [1]. Уменьшение концентрации радона к поверхности почв можно объяснить его адсорбцией глинистыми частицами, растворением в грунтовых водах и частичным рассеиванием в атмосферном воздухе [1].

### Заключение

Сравнивая ППР в почвах различного гранулометрического состава в пределах трех геоморфологических структур Западно-Сибирской низменности, можно сделать вывод, что наибольшим средним значением ППР отличаются почвы Тоболь-

ского материка (супесь, легкие, средние и тяжелые суглинки). В песчаных пробах среднее значение ППР выше на Среднеиртышской низменности. На всех исследованных территориях величина ППР уменьшается от глубины к поверхности почвы и на поверхности не превышает 80 мБк/м²·с, что соответствует первому классу радоноопасности.

### Список литературы / References

1. Уткин В.И. Радоновая проблема в экологии // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 3. С. 73–80.
2. Outkin V.I. Radon's problem in ecology // Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal. 2000. V. 6. № 3. P. 73–80 (in Russian).
3. Ярмошенко И.В., Васильев А.В., Малиновский Г.П., Селезнев А.А. Влияние геогенных и антропогенных факторов на процессы поступления и накопления радона в зданиях (на примере населенных пунктов, расположенных на реке Теча) // Анри. 2017. № 3 (90). С. 62–70.
4. Yarmoshenko I.V., Vasiliev A.V., Malinovsky G.P., Seleznev A.A. Influence of geogenic and anthropogenic factors on the processes of radon intake and accumulation in buildings (on the example of settlements located on the Techa river) // Anri. 2017. № 3 (90). P. 62–70 (in Russian).

3. Chitra N., Danalakshmi B., Supriya D., Vijayalakshmi I., BalaSundar S., Sivasubramanian K., Baskaran R., Jose M.T. Study of Radon and Thoron exhalation from soil samples of different grain sizes. *Applied radiation and isotopes*. 2017. vol. 133. P. 75–80. DOI: 10.1016/j.apradiso.2017.12.017.

4. Дорожко А.Л. Природный радон: проблемы и решения // *Разведка и охрана недр*. 2010. № 8. С. 50–56.

Dorozhko A.L. Natural radon: problems and solutions // *Razvedka i okhrana neдр*. 2010. № 8. P. 50–56 (in Russian).

5. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. 286 с.

Karetin L.N. Soils of the Tyumen region. Novosibirsk: Nauka. Sibirskoye otdeleniye, 1990, 286 p. (in Russian).

6. Апкин Р.Н., Забелин А.А. Радон в почвенном воздухе в окрестностях г. Казань // *Безопасность в техносфере*. 2012. № 3. С. 19–21.

Apkin P.N., Zabelin A.A. Radon in soil air in the vicinity of Kazan // *Bezopasnost' v tekhnosfere*. 2012. № 3. P. 19–21 (in Russian).

7. Яковлева В.С. Методы и приборы контроля полей  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучений и радона в системе «грунт-атмосфера»: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Томск, 2013. 35 с.

Yakovleva V.S. Methods and instruments for monitoring the fields of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -radiation and radon in the system «soil-atmosphere»: avtoref. dis. ... dokt. tekhn. nauk. Tomsk, 2013. 35 p. (in Russian).