DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-39-52 УДК 504.064.2.001.18:550.835[551.733+(470.23)]

ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ СВОЙСТВ ДИКТИОНЕМОВЫХ СЛАНЦЕВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ТЕРРИТОРИИ БАЛТИЙСКО-ЛАДОЖСКОГО ГЛИНТА (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

У.С. Ефремова

Санкт-Петербургский государственный университет,
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9; *ylefre_95@rambler.ru*

Реферат В работе исследуются диктионемовые сланцы копорской свиты нижнего ордовика, как источник природного ионизирующего излучения, и проводится оценка воздействия их радиоактивных свойств на окружающую среду. Были проведены измерения содержания ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K в образцах породы. Оценивалась равномерность распределения естественных радионуклидов в толще диктионемовых сланцев. Количественно изучалась миграция ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K в почвы, которые непосредственно залегают на диктионемовых сланцах. Также проводились измерения и вычисления потенциальных дозовых нагрузок на население. Все материалы были получены в ходе полевых работ в 2014-2016 гг. По результатам исследования определено, что диктионемовые сланцы характеризуются высоким содержанием естественных радионуклидов, однако в толще породы они распределены достаточно неравномерно. Однозначной тенденции в миграции радионуклидов из материнской породы в почвы выявлено не было. Содержания урана в почве превышают кларковые значения в 1.5 - 37.5 раз. По вычисленным значениям мощности эквивалентной дозы – как нормативного показателя – потенциальную степень облучения населения в непосредственной близости от выходов диктионемовых сланцев на дневную поверхность можно отнести к повышенной и высокой.

Ключевые слова. Естественная радиоактивность, радиоэкология, диктионемовые сланцы, миграция естественных радионуклидов, облучение населения.

INFLUENCE OF RADIOACTIVE PROPERTIES OF DICTYONEMA SHALES ON THE ENVIRONMENT OF THE TERRITORY OF THE BALTIC KLINT (LENINGRAD REGION)

U.S. Efremova

Saint-Petersburg State University,
7/9, Universitetskaya nab., 199034, St. Petersburg, Russia; *ylefre_95@rambler.ru*

Abstract. The article examines *Dictyonema* shales of Koporje Formation of the Lower Ordovician, as a source of natural ionizing radiation, and estimates an impact of its radioactive properties on the environment. Measurements of concentration ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K in rock samples were conducted. The study

estimates uniformity of natural radionuclides distribution in rock strata of *Dictyonema* shales. The present work quantitatively explores migration of ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K to the soils, which lay on *Dictyonema* shales. Measurements and calculations of potential dose loads on the population were also conducted. All the materials were received during field 2014-2016 years. The results of the present research show, that *Dictyonema* shales are characterized by high concentration of natural radionuclides, however, in the rocks strata they are distributed unevenly. We identified no univocal tendency in radionuclides migration from bedrock to the soils. Concentration of uranium in soils exceeds the clark values 1.5 - 37.5 times. According to the calculated numbers of capacity of the equivalent dose as a standard indicator, the potential extent of population exposure in proximity to yields of *Dictyonema* shales on a surface can be referred to heightened and high.

Keywords. Natural radioactivity; radioecology; *Dictyonema* shales; migration of natural radionuclides, population exposure.

Введение

Одним из естественных источников радиоактивности является ионизирующее излучение от горных пород. Геологические тела с повышенным содержанием естественных радионуклидов (ЕРН) относятся к категории природных геологических объектов, которые определяют экологическую обстановку территории.

Как раз к таким геологическим телам относятся аргиллиты копорской свиты, которые принято называть диктионемовыми сланцами (из-за найденных в породе остатков граптолитов рода *Dictyonema*).

Диктионемовые сланцы копорской свиты нижнего ордовика обнажаются узкой полосой к югу от Финского залива. На территории северо-запада Русской платформы они распространены от реки Сясь на востоке до северной Эстонии на западе. Мощность этих пород в разных частях разреза изменяется от нескольких сантиметров до нескольких метров, местами породы выклиниваются.

Диктионемовые сланцы характеризуются тонкой слоистостью, темно-коричневым или черным цветом из-за большого количества органического вещества (10-15%) (Суханов и др., 2014). В составе органического вещества сланцев преобладают остатки граптолитов рода *Dictyonema*, конодонтов зоны *Cordylodus angulatus – C. rotundus* (Балахонова, 2014), кроме них присутствуют немногочисленные остатки микрофитофоссилий – сине-зелёных водорослей р. *Gloeocapsomorpha* и единичные акритархи сфероидальной формы (Суханов и др., 2014).

Характерной особенностью сланцев считается их повышенная радиоактивность за счет высокого содержания естественных радионуклидов (ЕРН) – ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K. В основном эти породы перекрыты более поздними отложениями, однако, есть места, где диктионемовые сланцы подходят близко к дневной поверхности и вскрываются реками и техногенными выработками.

За счет наклонного залегания слоев (угол падения варьирует от долей градуса до 5°-15°) ширина выхода сланцев на дневную поверхность может увеличиваться. Кроме того, за счет многочисленных возвышенностей и понижений в рельефе диктионемовые сланцы могут напрямую контактировать с почвой. В таких местах ореолы рассеивания естественных радионуклидов могут образовываться естественным путем за счет механического или химического обогащения почв радиоактивными элементами.

Необходимо понимать, что подобные участки выходов радиоактивных пород на дневную поверхность оказывают влияние на радиоэкологическую обстановку близлежащих территорий. Поэтому была поставлена цель – охарактеризовать диктионемовые сланцы, как природный источник ионизирующего излучения, и оценить воздействие их радиоактивных свойств на окружающую среду.

Для этого было необходимо провести радиометрические измерения на обнажениях; количественно оценить содержание радионуклидов ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K в диктионемовых сланцах и отследить характер распределения этих элементов в пласте породы; а также количественно оценить миграцию радиоактивных элементов в почвы, залегающие непосредственно на диктионемовых сланцах.

Материалы и методы

Сбор материалов проводился автором в процессе полевых работ в 2014-2016 гг. на пяти участках в Ленинградской области, где диктионемовые сланцы выходят на дневную поверхность. Пробы отбирались в п. Ульяновка (Тосненский р-н), д. Перекюля (Ломоносовский р-н) на Кирхгофской возвышенности, г. Павловске (Пушкинский р-н) на р. Тызьва, с. Копорье (Ломоносовский р-н) и в п. Войскорово (Тосненский р-н) на р. Ижора. Места отбора проб обозначены звездочками на карте – рис.1.

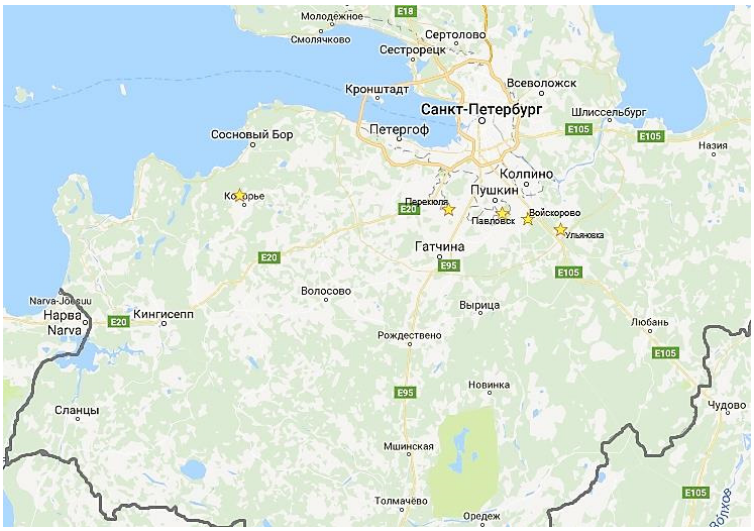

Рисунок 1. Карта западной части Ленинградской области с нанесенными точками отбора проб (https://www.google.ru/maps/)

Звёздочками обозначены места отбора проб

Все обнажения, на которых производился пробоотбор, представляют собой выходы диктионемовых сланцев на дневную поверхность в бортах оврагов, берегах рек и т.п. Поскольку обнажения представляли собой участки с некрутым склоном, появлялась возможность отобрать пробы почв, непосредственно развитых на диктионемовых сланцах, чтобы количественно оценить миграцию радиоактивных элементов из сланцев копорской свиты в почву.

На каждом таком обнажении отбирались пробы диктионемовых сланцев и контактирующих с ними почв. Пробоотбор производился по профилям – схема профилей изображена на рис. 2. Точки отбора располагались равномерно, однако расстояния между точками изменялись в зависимости от мощности пласта диктионемовых сланцев. Всего было отобрано 69 проб.

Рисунок 2. Схема расположения профилей отбора проб (на примере обнажения на р. Тызьва близ г. Павловска)
Цифрами обозначены номера профилей

Также на обнажениях производились замеры уровня радиации – мощности экспозиционной дозы (мкР $ч^{-1}$) – с помощью цифрового широкодиапазонного дозиметра ДРГ-01Т1 в режиме работы «Измерение» при относительной погрешности ±15%. Измерения проводились в каждой точке на расстоянии 15-20 см от пласта породы.

После того, как пробы диктионемовых сланцев и почв были отобраны, они высушивались, дробились до фракции < 3 мм и расфасовывались в пластмассовые цилиндрические сосуды объемом 250 мл для соблюдения единой геометрии при лабораторном анализе.

В испытательной лаборатории отдела радиационной гигиены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» на гамма-спектрометре «РАДЭК» был проведен анализ проб на активность (А) естественных радионуклидов.

Аналитический комплекс «РАДЭК» предназначен для определения активностей γ-излучающих радионуклидов в пробах почв, горных пород, растительности, воды, продуктов питания, строительных материалов и других

веществ с объемным весом от 0.2 до 2.0 г/см^3, а также β-излучающих радионуклидов в продуктах питания и биологических пробах (Габитов, 2005).

Гамма-спектрометр отградуирован в единицах активности радионуклидов по образцовым мерам активности радионуклидов ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K. Время набора – 2000 секунд. По данным анализов вычислялась эффективная удельная активность ($A_{эфф}$) ЕРН в образцах.

Эффективная удельная активность ЕРН ($A_{эфф}$) – суммарная удельная активность ЕРН в материале, определяемая с учетом их биологического воздействия на живой организм (Бк кг$^{-1}$) по формуле НРБ-99/2009 (СанПин 2.6.1.2523-09, 2009):

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.31 \cdot A_{Th} + 0.085 \cdot A_K, \quad (1)$$

где A_{Ra}, A_{Th}, A_K – удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк кг$^{-1}$.

На основании полученных данных высчитывались концентрации ЕРН в образцах почв и сланцев.

Также, благодаря полученным значениям удельной активности ЕРН в почвах, была рассчитана мощность поглощенной дозы в воздухе над почвами с использованием дозовых коэффициентов преобразования, приведенных в работе (United…, 2000).

Диктионемовые сланцы, как источник природного ионизирующего излучения

Как уже упоминалось ранее, для диктионемовых сланцев характерен повышенный уровень радиоактивности, что обусловлено наличием в их составе естественных радионуклидов – ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K.

Существует несколько гипотез о генезисе урана, тория и калия в диктионемовых сланцах.

Предположительно, источником радиоактивных элементов в диктионемовых сланцах мог служить снос радиоактивных веществ (минералов урана и тория или их растворенных соединений) с Балтийского щита в ордовикское море Русской платформы.

Согласно расчетам геохимических индикаторов по соотношениям, приведенным в работе А.С. Балахоновой (2014) (с помощью подобных индикаторов определяется целый комплекс критериев происхождения месторождений полезных ископаемых (Овчинников, 1983)), были установлены особенности условий осадконакопления диктионемовых сланцев:

– во-первых, было установлено, что диктионемовые сланцы накапливались в условиях морской мелководно-прибрежной фациальной обстановки, с преимущественно терригенным источником сноса, в условиях гумидного климата;
– во-вторых, установлено, что сланцы формировались в бескислородных восстановительных условиях, возможно, с сероводородным заражением;

– в-третьих, согласно расчетам, можно говорить о преобладании в областях питания кислых магматических образований – источников урана и других металлов области сноса.

Поскольку в раннем ордовике море трансгрессировало, областью размыва являлись породы южного (в нынешней ориентировке) склона Балтийского щита, преимущественно кислого гранит-гранодиоритового состава. Таким образом, учитывая значительные объемы эродированных пород области сноса, эти породы являлись поставщиками многих металлов (Балахонова, 2014), в том числе урана и тория. Большое количество органического материала и существовавшие в то время восстановительные сероводородные обстановки создали благоприятные условия для сорбции радиоактивных элементов из придонных вод.

Еще одна гипотеза предполагает, что морские воды могли быть в значительной степени обогащены растворенным ураном вследствие проявления поблизости вулканической деятельности. В работе (Юдович, Кетрис, 1998) говорится, что диктионемовый сланец по своей природе является измененным пепловым туфом кислого состава.

Результаты определения эффективной удельной активности ($A_{эфф}$) ЕРН в исследуемых образцах диктионемовых сланцев по данным анализа проб показаны в табл. 1. Данные приводятся по профилям отбора проб от кровли (профиль № 1) к подошве (профиль № 3-4).

Таблица 1. Значения активностей и эффективных удельных активностей по профилям отбора проб

Место отбора проб	Мощность породы, м	№ профиля	A_{Ra}, Бк	A_{Th}, Бк	A_K, Бк	$A_{эфф}$, Бк кг$^{-1}$
УЛЬЯНОВКА	0.15	1	186	15	315	780
ВОЙСКОРОВО	0.8	1	308	15	464	1082
		2	457	15	507	1525
		3	318	17	516	1127
ПАВЛОВСК	1.4	1	413	16	547	1547
		2	221	13	486	899
		3	451	16	488	1668
		4	1011	18	398	3481
ПЕРЕКЮЛЯ	2	1	961	38	538	3917
		2	780	37	432	3212
		3	881	42	313	3572
КОПОРЬЕ	6	1	188	13	473	767
		2	557	12	451	1922
		3	460	12	426	1618
		4	1726	16	456	5650

Анализируя полученные результаты, можно сказать, что основной вклад (~90%) в радиоактивность диктионемовых сланцев вносит радий – продукт распада урана. Несмотря на высокие значения активности калия на всех

участках, его вклад в общую радиоактивность пород незначителен, что подтверждает формула расчета $A_{эфф}$.

Наименьшие значения активностей урана, тория и калия отмечены в п. Ульяновка, а наиболее высокие значения эффективной удельной активности ЕРН – в п. Перекюля и в с. Копорье.

О высоких содержаниях урана на данных участках известно достаточно давно. «В 1961-1963 гг. по заданию Минсредмаша в Прибалтийском бассейне диктионемовых сланцев были проведены ревизионно-поисковые исследования с целью выделения площадей для разведки крупных запасов с содержанием урана не ниже 0.05%. В результате работ оконтурены площади, где содержание урана в обогащенной части пласта значительно превышает его средние содержания» (Кушнеренко и др., 2005). К этим площадям относятся участки Красносельский (на территории которого находится Кирхгофская возвышенность), Котлы и Копорье.

В некоторых исследуемых образцах содержания урана тоже достигают промышленных концентраций, свойственных убогим рудам, а именно: в пробе 1.2 на Кирхгофской возвышенности содержание урана составляет 522 г/т, а в пробе 1.5 в с. Копорье – 611 г/т. Однако, в большинстве проб содержание урана не превышает 250 г/т.

Также, было интересно отследить равномерность распределения ЕРН в толще породы. Для наглядности были построены диаграммы распределения ЕРН на каждом исследуемом участке по профилям (от подошвы к кровле) – см. рис. 3.

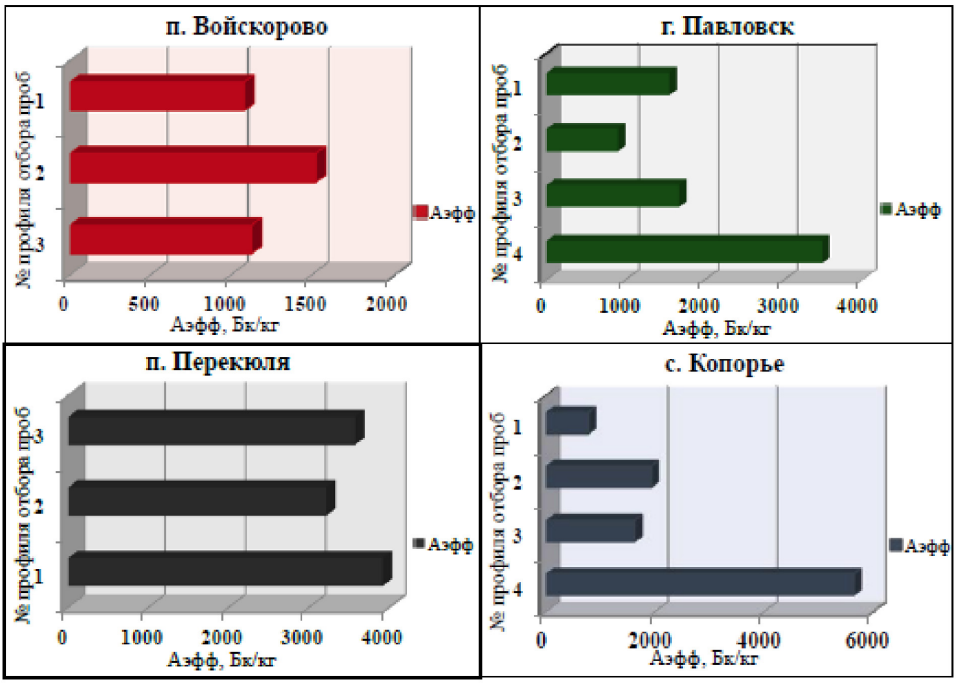

Рисунок 3. Диаграммы распределения ЕРН в толще породы

Очень ярко выражена особенность радия концентрироваться в ближайших к подошве слоях на участках в с. Копорье и г. Павловске. Также, небольшое увеличение содержания радия у подошвы толщи сланцев наблюдается и на обнажении на Кирхгофской возвышенности. Это явление можно объяснить тем, что радий достаточно неподвижен с геохимической точки зрения, в отличие от урана. Поскольку исследуются выходы диктионемовых сланцев на дневную поверхность, обнажения находятся в зоне гипергенеза, где за счет процессов инфильтрации или механического переноса уран мог перемещаться по разрезу и сосредотачиваться у подошвы.

Чтобы численно оценить равномерность распределения радионуклидов ^{238}U, ^{232}Th и ^{40}K в толще диктионемовых сланцев, были рассчитаны коэффициенты вариации (σ) содержания ЕРН для каждого разреза. По величине коэффициента вариации можно судить об интенсивности вариации признака, и, следовательно, об однородности состава изучаемой совокупности.

Значения коэффициентов вариации составили: п. Войскорово: $\sigma = 20\%$; г. Павловск: $\sigma = 58\%$; д. Перекюля: $\sigma = 10\%$; с. Копорье: $\sigma = 90\%$.

Статистические совокупности с коэффициентом вариации больше 30-35% считаются количественно неоднородными (Сизова, 2013). Таким образом, можно сказать, что наиболее равномерно ЕРН накапливались в частях разреза на участках п. Войскорово и д. Перекюля. Достаточно высокие показатели неоднородности на участках разреза в г. Павловске и с. Копорье можно объяснить неравномерностью уранового оруденения.

Оценка миграции ^{238}U, ^{232}Th и ^{40}K из диктионемовых сланцев в почву

На каждом исследуемом участке отбирались пробы почв, непосредственно залегающих на диктионемовых сланцах. Мощность почвенного покрова в местах отбора проб была небольшая и составляла в среднем 7-15 см.

Главным источником природных радиоактивных элементов в почве является почвообразующая порода. Как известно, состав и свойства материнской (подстилающей) породы являются одним из важнейших факторов в почвообразовании, особенно на первых этапах формирования почвы, когда она максимально наследует свойства горных пород, их минералогический и химический составы. Как правило, со временем почва становится более зрелой, увеличивается по мощности, за счет инфильтрационных процессов приобретает зональность, и способ ее взаимодействия с материнской породой меняется (Щеглов и др., 2008). Однако маломощные почвы находятся в сильной зависимости от материнской породы.

Диктионемовые сланцы копорской свиты, которые в условиях проводимых исследований являются подстилающей породой для почвы, сложены аргиллитами и алевролитами, очень тонкозернистыми, с достаточно большим содержанием органического вещества. Эти особенности диктионемовых сланцев прежде всего наследуются почвами, образующимися на этих породах. Радиоактивные элементы (^{238}U, ^{232}Th и ^{40}K) также могут накапливаться в почвах, тем самым загрязняя ее.

Чтобы оценить, какое количество радиоактивных веществ накапливают почвы, залегающие на диктионемовых сланцах, высчитывались содержания (концентрации) (г $т^{-1}$) урана, тория и калия в почвах на всех исследуемых участках. Численные значения представлены в табл. 2.

Таблица 2. Содержание ЕРН в почвах

	^{238}U (^{226}Ra), г/т	^{232}Th, г/т	^{40}K, %
УЛЬЯНОВКА	24	9	3.3
ВОЙСКОРОВО	9	9	1.3
ПАВЛОВСК	3.3	6	4.5
ПЕРЕКЮЛЯ	75	9	4.3
КОПОРЬЕ	25	9	3.4

Если сравнивать содержания ЕРН в исследуемых образцах с кларками этих элементов в почвах, которые составляют: 2 г $т^{-1}$ для урана; 6.2 г $т^{-1}$ для тория и 1.2% для калия (Беляев и др., 2003), то мы видим, что концентрация урана в исследуемых образцах превышает кларковые значения от 1.5 до 37.5 раз. Для тория и калия превышения над кларковыми значениями незначительны, в некоторых пробах содержания калия и тория были в пределах средних значений.

Наибольшие значения содержания радиоактивных элементов в почвах отмечаются на участке в п. Перекюля, где также и в диктионемовых сланцах отмечены наибольшие активности ЕРН. Было интересно отследить, какой процент ЕРН от почвообразующей породы переходит в почвы, и существует ли корреляция между содержанием ЕРН в сланцах и в контактирующих с ними почвах. Диаграмма на рис. 4 демонстрирует соотношение содержания урана в почвах и в сланцах.

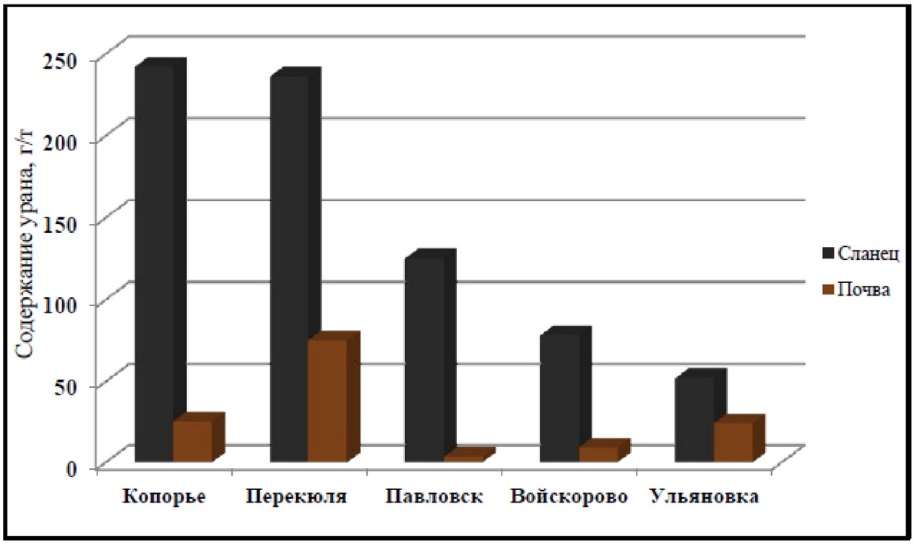

Рисунок 4. Соотношение содержаний (г $т^{-1}$) урана в диктионемовых сланцах и в почвах

Численно процент наследования почвой урана из диктионемовых сланцев составляет: Копорье – 10%; Перекюля – 32%; Павловск – 3%; Войскорово – 12%; Ульяновка – 46%.

Опираясь на полученные результаты, корреляции типа «чем больше содержания ЕРН в сланце, тем больше содержания ЕРН в почве» выявлено не было. При наименьших значениях содержания урана в породе (п. Ульяновка), мы наблюдаем наибольшую степень наследования радионуклида почвой. Обратную ситуацию можно увидеть на участке в г. Павловске, где при достаточно высоких содержаниях урана в сланцах, почва его практически не наследует.

Причиной таких результатов может служить тот факт, что пробоотбор производился на участках с неровным рельефом, т.е. на склоне. Таким образом, на некоторых участках могли быть развиты склоновые процессы, в результате которых почвенный материал мог перемещаться, вследствие чего процесс миграции ЕРН из сланцев в почву мог нарушаться (прерываться) или иметь непродолжительный период.

Миграция ЕРН из материнской породы в почву также может приводить к загрязнению почвы. В России для оценки загрязнения почв принято брать предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) загрязняющих веществ, однако они установлены не для всех элементов и в отечественных документах содержание урана в почвах не нормируется. Но, например, в Германии предельно допустимое содержание урана в почвах принято 5 мг/кг (Водяницкий, 2011). Если сравнивать полученные в данной работе содержания урана в почве с немецкими нормативами, то на исследуемой территории близ г. Павловска на р. Тызьва содержания урана в почвах находятся в пределах предельно допустимых содержаний, однако в образцах почв с остальных четырех участков содержания урана превышает нормативный показатель в 1.8 - 15 раз.

Радиоэкологическая оценка воздействия диктионемовых сланцев

Интенсивность излучения в дозиметрии характеризуют мощностью дозы – соответственно мощностью поглощенной и экспозиционной доз. Поглощенная доза (Гр) является основной физической величиной, которую используют в качестве оценки меры действия ионизирующего излучения. Она равна энергии излучения, поглощенной единицей массы облученного вещества (Беляев и др., 2003).

Благодаря полученным значениям удельной активности ЕРН в почвах, была рассчитана мощность поглощенной дозы в воздухе над почвами на каждом участке с использованием дозовых коэффициентов преобразования, приведенных в работе (United…, 2000). Формула для расчета мощности поглощенной дозы в воздухе над почвами имеет следующий вид:

$$D = 0.462 \cdot A_U + 0.604 \cdot A_{Th} + 0.0417 \cdot A_K, \quad (2)$$

где A_{Ra}, A_{Th}, A_K – удельные активности радия, тория, калия соответственно, Бк/кг.

По вычисленным и усредненным значениям мощности поглощенной дозы в воздухе над почвами построена диаграмма – см. рис. 5.

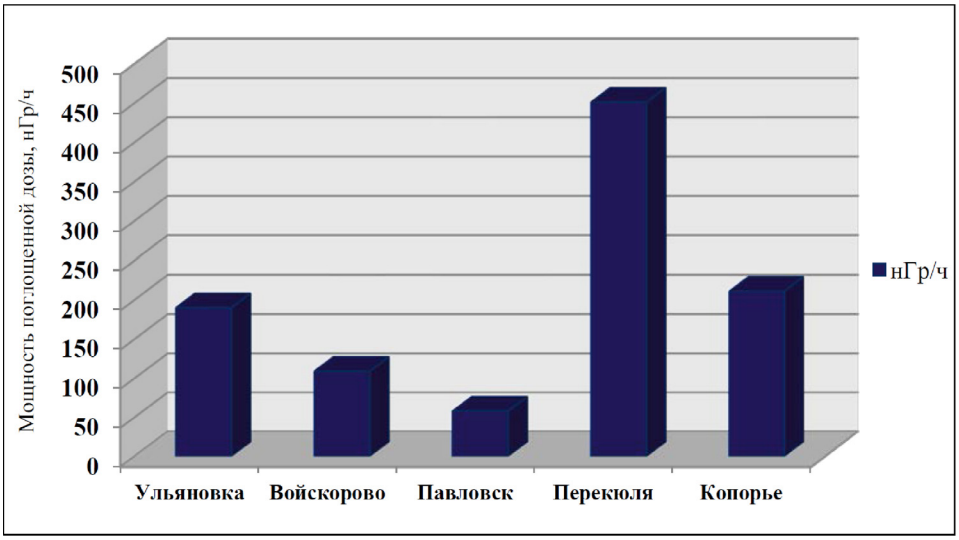

Рисунок 5. Диаграмма значений мощности поглощенной дозы в воздухе над почвами на каждом из участков

Также, на каждом обнажении производились замеры уровня радиации (мощности экспозиционной дозы) (мкР $ч^{-1}$) дозиметром ДРГ-01Т1 на расстоянии 20 см от толщи породы. Значения для каждого из участков варьировали: п. Ульяновка – от 60 до 80 мкР $ч^{-1}$; п. Войскорово – от 69 до 113 мкР $ч^{-1}$; г. Павловск – от 55 до 98 мкР $ч^{-1}$; д. Перекюля – от 160 до 349 мкР $ч^{-1}$; с. Копорье – от 54 до 150 мкР $ч^{-1}$.

Согласно нормативному документу ОСПОРБ-99/2010 (СП 2.6.1.2612-10, 2010), при выборе участков территорий под строительство зданий жилищного и общественного назначения выбираются участки с мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения менее 30 мкР/ч. Таким образом, полученные величины мощности экспозиционной дозы превышают нормативные показатели от 1.5 до 11 раз.

Также, были проведены расчеты мощности эквивалентной дозы (мЗв $год^{-1}$) – как нормативного показателя – из измеренной мощности экспозиционной дозы для того, чтобы оценить уровень потенциального облучения населения. Значения составили в среднем: п. Ульяновка – 6 мЗв $год^{-1}$; п. Войскорово – 8 мЗв $год^{-1}$; г. Павловск – 7 мЗв $год^{-1}$; д. Перекюля –23 мЗв $год^{-1}$; с. Копорье – 9 мЗв $год^{-1}$.

Согласно ОСПОРБ-99/2010 (СП 2.6.1.2612-10, 2010): «степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения от всех основных природных источников излучения:

менее 5 мЗв $год^{-1}$ – приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения;

свыше 5 до 10 мЗв $год^{-1}$ – облучение населения является повышенным;

более 10 мЗв $год^{-1}$ – облучение населения является высоким».

Из полученных результатов следует, что степень облучения населения в непосредственной близости от участков выходов диктионемовых сланцев на дневную поверхность можно отнести к повышенной и высокой. Однако по мере удаления от источника ионизирующего излучения степень его воздействия на человека очень быстро ослабляется. На расстоянии 3-5 метров уровень радиации будет уже в пределах фоновых значений.

Но существует еще одна проблема, связанная с радиоактивностью диктионемовых сланцев, – это проблема радоновой опасности. Радон – радиоактивный газ, источниками которого являются высокорадиоактивные горные породы. Радоновое поле вблизи дневной поверхности зависит от содержания урана (радия) и тория в геологических образованиях (Беляев и др., 2003). Для Ленинградской области проблема радоноопасности является весьма актуальной и затрагивает многие районы. Если в северной части области источниками радона являются кислые магматические породы, то для западной части – это диктионемовые сланцы.

В геологическом разрезе Ленинградской области диктионемовые сланцы перекрываются мощным слоем ордовикских известняков. Однако, поскольку известняки являются породами с небольшой плотностью и характеризуются трещиноватостью, радон по трещинам может проникать на дневную поверхность, а также скапливаться в подвальных помещениях жилых домов, что, в свою очередь, представляет серьезную радиоэкологическую опасность для здоровья населения.

Благодарности

За помощь в проведении полевых работ, обработку собранных материалов и обсуждение полученных результатов выражаю признательность сотрудникам Санкт-Петербургского государственного университета – доцентам С.В. Лебедеву, С.М. Снигиревскому, П.В. Фёдорову, А.Г. Гончарову, П.С. Зеленковскому, заведующему испытательной лабораторией отдела радиационной гигиены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» – Н.В. Череватову. А также выражаю благодарность Н.Ю. Яворской за ценные консультации в процессе написания статьи.

Список литературы

Балахонова А.С. 2014. Рениевое оруденение в диктионемовых сланцах прибалтийского бассейна (Ленинградская область). – Дис. ... канд. г.-м. наук, 125 с.

Беляев А.М., Иванюкович Г.А., Куриленко В.В., Хайкович И.М. 2003. Радиоэкология: Учеб. пособие. – СПб., Изд-во СПб. ун-та., 324 с.

Водяницкий Ю.Н. 2011. Химические аспекты поведения урана в почвах (обзор литературы). – Почвоведение, № 8, с. 940-952.

Габитов Р.М. 2005. Аналитический комплекс «Радэк». Методика выполнения измерений. – СПб, 27 с.

Кушнеренко В.К., Шустов Б.Н., Громов Ю.А., Петров Ю.В. 2005. Шестьдесят лет поисков уранового сырья на Северо-Западе России. – Разведка и охрана недр, № 10, с. 18-29.

Овчинников Л.Н. 1983. Проблемы прикладной геохимии. – Вестник АН СССР, № 1, с. 110-117.

СанПин 2.6.1.2523-09. 2009. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

Сизова Т.М. 2013. Статистика: учебное пособие. – СПб., СПб НИУ ИТМО, 176 с.

СП 2.6.1.2612-10. 2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010).

Суханов А.А., Сергеев В.О., Валиев Ф.Ф., Макарова И.Р., Яфясов А.М. 2014. Применение физических методов для характеристики органического вещества диктионемовых сланцев Ленинградской области. – Вестник СПбГУ, сер. 4, физика и химия, вып. 1, с. 32-36.

Щеглов Д.И., Дудкин Ю.И., Крамарева Т.Н. 2008. Учение о факторах почвообразования: Учеб. Пособие. – Воронеж, Изд-во Воронежского ун-та, 34 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. 1991. Геохимия и рудогенез Mo, W, Re в черных сланцах. – Сыктывкар, Геонаука, 64 с.

United Nations. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000. – Report to the General Assembly, **scientific annexes**. United Nations sales publication E.00.IX.3. United Nations. – New York, 659 p.

References

Balakhonova A.S. 2014. *Renievoe orudenenie v diktionemovykh slantsakh pribaltiiskogo basseina (Leningradskaia oblast')* [Rhenium mineralization of the Dictyonema schists of the Baltic basin (Leningrad region)]. Candidate`s thesis. St. Petersburg, 125 p.

Beliaev A.M., Ivaniukovich G.A., Kurilenko V.V., Khaikovich I.M. 2003. *Radioekologiia: Ucheb. Posobie* [Radioecology: tutorial]. St. Petersburg, 324 p.

Vodyanitskii Y.N. 2011. Chemical aspects of uranium behavior in soils: a review. *Eurasian soil science*, Moscow, no. 8, pp. 862-873.

Gabitov R.M. 2005. *Analiticheskii kompleks «Radek». Metodika vypolneniia izmerenii* [Analytical complex «Radec». Measurement procedure]. St. Petersburg, 27 p.

Kushnerenko V.K., Shustov B.N., Gromov Iu.A., Petrov Iu.V. 2005. Shest'desiat let poiskov uranovogo syr'ia na Severo-Zapade Rossii [Sixty years of research of uranium ore in the North-West of Russia]. *Razvedka i okhrana nedr – Prospect and protection of mineral resources,* no. 10, pp. 18-29.

Ovchinnikov L.N. 1983. Problemy prikladnoi geokhimii [Problems of applied geochemistry]. *Vestnik AN SSSR – Herald of the Russian Academy of Sciences*, no. 1, pp. 110-117.

SanPin 2.6.1.2523-09. 2009. *Normy radiatsionnoi bezopasnosti* [Radiation safety standards]. (NRB-99/2009).

Sizova T.M. 2013. *Statistika: uchebnoe posobie.* [Statistics: Tutorial]. St. Petersburg, 176 p.

SP 2.6.1.2612-10. 2010. *Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniia radiatsionnoi bezopasnosti* [Basic sanitary rules for ensuring radiation safety]. (OSPORB – 99/2010).

Soukhanov A.A., Sergeev V.O., Valiev F.F., Makarova I.R., Yafyasov A.M. 2014. Primenenie fizicheskikh metodov dlia kharakteristiki organicheskogo veshchestva diktionemovykh slantsev Leningradskoi oblasti [The application of physical methods to investigate Dictionema shale organic matter in Leningrad region]. *Vestnik SPbGU - Vestnik of St. Petersburg State University, Series 4, Physics, Chemistry*, issue 1, pp. 32-36.

Shcheglov D.I., Dudkin Iu.I., Kramareva T.N. 2008. *Uchenie o faktorakh pochvoobrazovaniia: Ucheb. Posobie* [Theory of the factors of soil formation: the Textbook]. Voronezh, 34 p.

Iudovich Ia.E., Ketris M.P. 1991. *Geokhimiia i rudogenez Mo, W, Re v chernykh slantsakh* [Geochemistry and oreogenesis of Mo, W, Re in black schists]. Syktyvkar, 64 p.

United Nations. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000. – Report to the General Assembly, **scientific annexes**. United Nations sales publication E.00.IX.3. United Nations. – New York, 659 p.

Статья поступила в редакцию: 30.04.2017 г. *После переработки:24.05.2017 г.*