

Метод литологического расчленения и картирования приповерхностных отложений на основе оценки различий по энергии гамма-излучения

©2023 В. В. Ильяш✉

*Воронежский государственный университет
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

Аннотация

Представлены результаты проведения полевых опытов по изучению возможности использования различий горных пород по энергии гамма-излучения для разработки метода картирования литологической неоднородности грунтовых массивов и выявления в них нарушенных зон. При использовании в экспериментах радиометра-дозиметра РКС-107, установлено, что в третьем рабочем режиме с закрытой крышкой детектора при измерениях с поверхности почвы при одних и тех же условиях этим способом фиксируется энергия гамма-излучения в значениях с меньшей вариативностью, чем в режимах измерения других параметров радиационного поля. Изучено влияние на вариативность значений энергии гамма-излучения разных факторов (почвенный и снежный покров, сезонные условия, температура воздуха, разная гамма-активность и мощность подстилающих и перекрывающих пород). Показано, что перечисленные условия не являются ограничивающими для применения данного способа оценки радиоактивных свойств горных пород как вспомогательного метода при ландшафтном, инженерно-геологическом, инженерно-экологическом картировании. Показано, что петрохимические разновидности горных пород, обладают устойчивыми и узкими диапазонами энергии гамма-излучения. Для терригенных автохтонных отложений этот диапазон определяется соотношением обломочного кварца и глинистой матрицы.

Ключевые слова: литологическое картирование, радиологические методы, радиометр-дозиметр, энергия гамма излучения, нарушенные зоны, инженерные изыскания

Для цитирования: Ильяш В. В. Метод литологического расчленения и картирования приповерхностных отложений на основе оценки различий по энергии гамма-излучения // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2023. № 1. С. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/1/18-28>

Введение

Различия радиационных свойств горных пород активно стали использовать незадолго и после окончания второй мировой войны главным образом в поисковых целях. Позже в структурной геологии появился интерес к радоновому методу выявления дизъюнктивных нарушений [1]. Но его эффективность у многих исследователей вызывала сомнение [2].

Причина в нерешенности многих теоретических вопросов, связанных с механизмами миграции этого тяжелого газа в недрах из-за очень короткой жизни ядер его атомов. Кроме того, осложняющим фактором является чрезвычайно высокая вариативность его концентраций в зависимости от метеоусловий и ряда других факторов. [3].

В связи с возросшими требованиями и массовостью



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Ильяш Валерий Владимирович, e-mail: vvikii@mail.ru

инженерных изысканий под строительство, появилась потребность в детальных крупномасштабных литологических картах, планах и разрезах приповерхностных грунтов. В готовом виде их не найти. Традиционно геологическое картирование нацелено на поиски минерального сырья, где крупномасштабные карты составляются лишь для разведанных месторождений. В данной статье автор знакомит читателя с результатами трехлетних экспериментальных исследований, нацеленных на обоснование и применение методики крупномасштабного картирования приповерхностных грунтовых массивов на основе выявления неоднородностей их строения по энергии гамма-излучения.

Методы изучения радиационной экологической функции литосферы

В инженерно-экологических изысканиях применяется три вида оценочных методов радиационных рисков: 1) гамма-съемка территории с целью поиска возможных источников природного и техногенного загрязнения (МЭД-гамма съёмка); 2) определение содержания радионуклидов и удельной активности естественных и техногенных радионуклидов в почвах и грунтах; 3) оценка плотности потока радона [4].

Особый интерес, как у геологов, так и у экологов вызывает радон, у первых как инструмент, а у вторых как объект исследования. В том и другом случае имеется затрудняющее обстоятельство – широкий диапазон вариаций измеряемых параметров. По этому поводу высказывались многие исследователи, но чаще всего акцентировалось внимание на метеоусловиях [4]. Ранее [3] нами было показано: вариации концентраций радона в почве, хотя и зависят от погодных условий, но в большей степени от проницаемости грунтов и от рельефа (радон тяжелее воздуха, потому накапливается в понижениях). Санитарно-гигиенические нормы для радона обозначены фиксированным значением, а вариации могут привести к противоположным выводам. Оценка результатов исследований будет корректной лишь при множественных синхронных измерениях с выходом на фоновые участки. Данных же по естественному фону для радона в грунтах нашей страны пока нет. В методике инженерных изысканий имеются недостатки и другого рода. Замеры потока радона согласно требованиям [4] выполняются с дневной поверхности, т. е. в условиях максимальной неопределенности. Так как источником радона является не атмосфера, в которой он быстро рассеивается, а литосфера, было бы логичнее снимать отсчеты непосредственно в подпочвенном слое.

В европейских странах и прежде всего в Скандинавии, где ранее других осознали опасность радонового загрязнения, прогноз строится не как у нас, а на основе классификации территорий по уровню объемной активности радона, замеренной непосредственно в грунтовом массиве. Для этого там специально проводится детальная геолого-радиационная съемка [5]. Правда, там и условия для накопления радона в грунтах иные. На Балтийском щите и в Скандинавии при

наличии открытых трещин в скальных породах создаются условия для высоких градиентов и перепадов концентрации радона, которые трудно пропустить при съемке. Иное дело для территорий с мощным осадочным чехлом как в нашем регионе, с высокими геологическими свойствами пород. Здесь подобные условия маловероятны и соответственно практикуемую методику экологических оценок следовало бы пересмотреть. В фондах изыскательских организаций по нашему региону в отчетах за последние пятнадцать лет нам не удалось найти ссылок на объекты с превышениями нормативов плотности потока радона. Это может вызывать вопросы.

Нам представляется перспективной двухэтапная оценка радиационной опасности. Первый этап – это площадная литолого-радиационная съемка на основе измерения с поверхности или в закопашках энергии гамма-излучения с выделением участков повышенной активности. Далее следует этап детализации выделенных участков с заверкой радоновым методом. Эти участки могут быть связаны с зонами динамического влияния разломов, которые обычно находят свое выражение и в ландшафте (в гидрографии, эрозионной сети, в активности опасных экзогенных геодинамических процессов), как, например, это продемонстрировано ниже на рис. 1.

При выполнении опытных исследований мы пользовались профессиональным радиометром-дозиметром РКС-107, который работает в трех режимах. На первом измеряется мощность эквивалентной дозы гамма-излучения; второй режим позволяет фиксировать бета-излучение, и на третьем режиме при открытой крышке детектора – альфа-активность радионуклида ^{137}Cs в водных растворах. В третьем режиме, но уже при закрытой крышке прибор фиксирует лишь энергию гамма-излучения.

Энергия гамма-излучения разных горных пород

Известно, что радиоактивность горных пород возрастает с повышением их кислотности и щелочности [5]. Это связано не только с литофильностью наиболее распространенных в земной коре радиоактивных элементов семейства урана и тория, но и содержанием радиоактивного изотопа калия (^{40}K).

Различия по радиоактивности продуктов экзогенной переработки горных пород напрямую зависят от глубины минералогической и химической дифференциации вещества исходных пород. Приповерхностные отложения осадочного чехла Воронежской антеклизы по большей части представлены песками, глинами и их переходными разностями. Именно это обстоятельство и побудило автора в качестве объекта исследований выбрать именно эти образования. Факторов вариаций энергии их излучения в основном два: 1) соотношение кварца и глинистых минералов и 2) минеральный состав глин. Но терригенные отложения в регионе отличаются происхождением и соответственно разной степенью геохимической зрелости, поскольку среди них наряду с автохтонными, присутствуют и аллохтонные

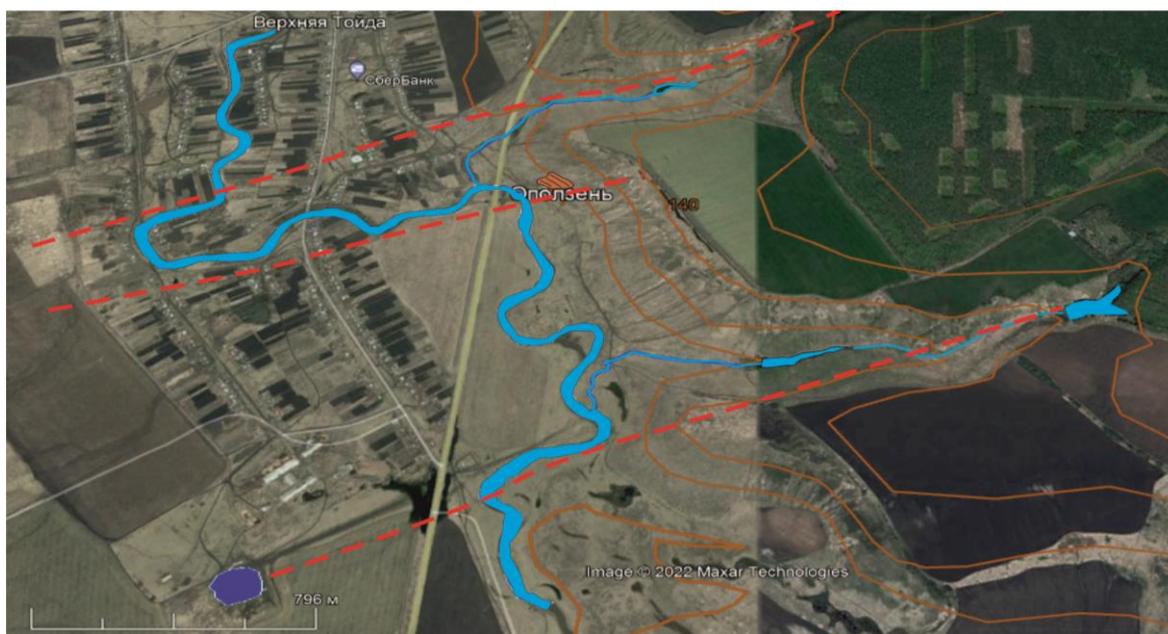


Рис.1. Отражение нарушенных зон в орогидрографии участка долины р.Тойда.
[Fig.1. Reflection of weakened zones in the orohydrography of the Toida River valley section.]

слабо дифференцированные отложения, например, ледниковые.

Пески в автохтонных толщах олигомиктовые и преимущественно кварцевые, поэтому отличаются низкой радиоактивностью. Примеси глинистых минералов повышает общую радиоактивность смесей. Глинистые минералы также различаются по радиоактивности в зависимости от содержания в них калия. Активный, но количественно подчиненный изотоп калия ^{40}K , испускает монохроматическое гамма-излучение с энергией 1.46 МэВ. При выветривании калийсодержащих минералов увеличивается дисперсность частиц, соответственно возрастают удельная поверхность и емкость катионного обмена, но снижается содержание калия от 10 % в некоторых исходных слюдяных минералах до менее 1 %, например, в продуктах выветривания основных пород (в монтмориллоните и вермикулите). Калий из этих минералов в кислых средах частично вытесняется ионом гидроксония (H_3O^+). В зависимости от степени вытеснения последовательно образуются гидробиотиты, иллиты и другие гидрослюды. Потери компенсируются сорбцией глинами калия, который со временем переходит в необменное состояние, входя в структуру новообразованных глинистых минералов [6].

Радиоактивность почв на 80-95 процентов также связана с калием. Песчаные и супесчаные почвы содержат калия 0.5–1.5 %; суглинистые 1–3%. Минимальными количествами калия отличаются торфяные почвы – 0.03–0.15 %. Это связано с низкой радиоактивностью органического вещества, что объясняет низкую активность каменных углей, отмеченную нами (табл. 1) и верхнего гумусового горизонта почвенного профиля. Вот такие достаточно многообразные вариации минерального и химического состава осадочных

пород, обеспечивают достаточно широкий и вместе с тем устойчивый диапазон радиационных свойств.

Грунтовые массивы на территории, где проводилось опытное картирование (Воронежская область водосборный бассейн р. Битюг), сложены преимущественно рыхлыми смесями песчано-пылеватоглинистого материала в разном соотношении в зависимости от фациальных условий накопления. Минимально зафиксированные значения в 0.45 МэВ отмечены для песков русловых фаций первой надпойменной террасы. Максимальные значения характерны для отложений старичных и водораздельных фаций, где накапливаются наиболее тонкие пелитовой размерности осадки. Продемонстрируем это ниже на примере двух профилей замеров: 1) через долину р. Тойда и 2) и по правому склону долины р. Битюг на отрезке от первой надпойменной террасы, сложенной у с. Старая Чигла песками, до автотрассы Анна-Бобров, проходящей по водоразделу, сложенному суглинками (рис. 2, 3).

Ниже в таблице 1 приводятся данные замеров энергии гамма-излучения по основным генетическим группам пород из разных регионов страны. Всего нами было обследовано более 700 точек наблюдений, большая часть которых приходится на осадочные породы территории Воронежской антеклизы. Механический состав песчано-глинистых смесей определялся гранулометрическим анализом в аккредитованной лаборатории ООО Инженерная геодезия и топография (г. Воронеж).

Как можно видеть из таблицы 1, диапазон значений энергии гамма-излучения в магматических породах широкий: от 1.75 МэВ (в нефелиновых сиенитах) до 0.4 МэВ (в ультраосновных породах). В метаморфических и осадочных породах он немногим уже.



Рис. 2. Профиль и разрез от с. Старая Чигла до автотрассы Анна-Бобров с замерами энергии гамма-излучения. Цифровые обозначения на карте: слева номер точки наблюдения, справа - значения в МэВ; на разрезе – энергия гамма-излучения в МэВ.
[Fig. 2. Profile and section from s. Staraya Chigla to the Anna-Bobrov highway with measurements of gamma radiation energy. Digital symbols on the map: on the left the number of the observation point, on the right - values in MeV; on the section – the energy of gamma radiation in MeV].

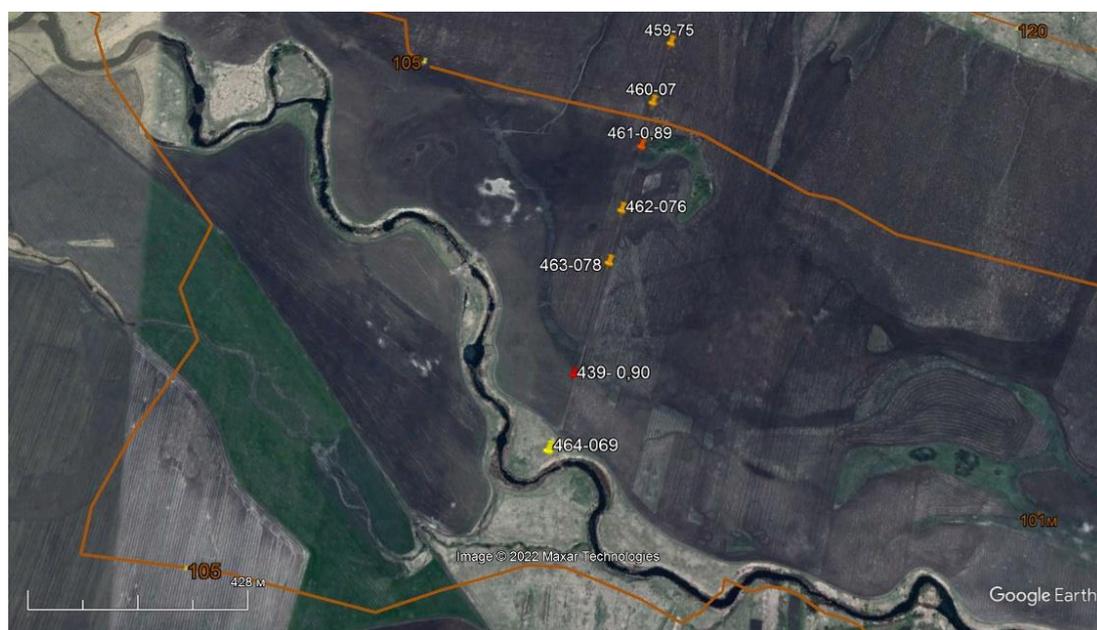


Рис. 3. Значения энергии гамма-излучения по профилю через пойму р. Тойда максимальны для пелитовых отложений старичных фаций и минимальны для прирусловых песчаных отложений. Цифровые обозначения: слева номер точки наблюдения, справа - значения в МэВ.
[Fig. 3. The values of the gamma radiation energy along the profile through the floodplain of the Toida River are maximal for pelitic deposits of ancient facies and minimal for near-crustal sandy deposits. Digital symbols: on the left is the number of the observation point, on the right are the values in MeV.]

Оценка необходимого количества замеров в одной точке наблюдения

Изготовитель измерительных приборов всегда указывает погрешность измерений самого прибора. Но есть вариации, связанные со стохастической природой самого измеряемого параметра и потому требующие специальной оценки.

Длительность одного замера энергии гамма-излучения на третьем режиме РКС-107 составляет около 4 минут, после истечения которых, прибор отключается автоматически. Это не так уж и мало, если ещё по

множить это время на необходимые неоднократные замеры в каждом пункте наблюдения. Минимально допустимое их количество мы оценивали экспериментально с применением статистических методов для получения среднего значения как объективного отражения свойств данной ландшафтной точки и допустимых отклонений от него. Необходимость собственной оценки была вызвана, тем, что применяемый нами способ использования прибора на третьем режиме с закрытой крышкой детектора, изготовителем не предусмотрен.

Табл. 1. Энергия гамма-излучения горных пород разных регионов РФ
[Table 1. Gamma radiation energy of rocks from different regions of the Russian Federation]

Название пород и их генезис [The name of rocks and their genesis]	Энергия излучения (МэВ) Radiation energy (MeV)		Местонахождение точек наблюдений [Location of observation point]
	В массиве [masiv rocks]	Обломочный материал [fragments of rocks]	
Магматические [Igneous]			
Серпентиниты [Serpentinities]	0.4-0.45	0.45-0.50	Адыгея [Adygea]
Серпентиниты [Serpentinities]		0.48-0.52	Калужская область [Kaluga Region]
Габбро [Gabbro]		0.62-0.65	Адыгея [Adygea]
Андезитодациты [Andesiteodacites]		0.8-0.95	Калужская область [Kaluga Region]
Плагииграниты [plagiogranit]	1.10		Адыгея [Adygea]
Граносиениты [Granosienites]	1.0-1.15		Воронежская область [Voronezh Region]
Аплиты [Aplites]	1.3		Адыгея [Adygea]
Нефелиновые сиениты [Nepheline syenites]	1.75		Мурманская область [Murmansk region]
Метаморфические [Metamorphic]			
Хлорит-амфиболовые сланцы [Chlorite-amphibole shales]		0.5-0.53	Старый Оскол [Stary Oskol]
Амфиболовые сланцы [Amphibole shales]		0.52-0.59	Адыгея [Adygea]
Амфиболиты [Amphibolites]	0.6-0.62		Адыгея [Adygea]
Амфиболиты [Amphibolites]		0.55-0.67	Воронежская область [Voronezh Region]
Кварцито-песчаники [Quartzite-sandstones]		0.55-0.65	Старый Оскол [Stary Oskol]
Металевролиты [Metaleurolites]		0,75	Адыгея [Adygea]
Эгириновые железистые кварциты [Aegirine Ferruginous quartzites]		0.7-0.78	Старый Оскол [Stary Oskol]
Плагиигнейсы [Plagiogneis]		0.95-1.0	Воронежская область [Voronezh Region]
Гранито-гнейсы [Granite-gneiss]		0.9-1.15	Адыгея [Adygea]
Метапелиты [Metapelites]		0.87-1.0	Адыгея [Adygea]
Осадочные [Sedimentary]			
Пески кварцевые [Quartz sands]	0.45-0.57		Воронежская область [Voronezh Region]
Пески глинистые [Clay sands]	0.6-0.65		Воронежская область [Voronezh Region]
Песчаники полимиктовые [Polymictic sandstones]	0.65-0.72		Адыгея [Adygea]
Пески полимиктовые [Polymictic sandstones]	0.6-0.67		Воронежская область [Voronezh Region]
Мергель [Marl]	0.54-0.66		Новороссийск [Lipetsk region]
Суглинки легкие [Loam is light]	0.6-0.65		Липецкая область [Lipetsk region]
Суглинки средние [Loam medium]	0.65-0.70		Липецкая область [Lipetsk region]
Суглинки тяжелые [Loam is heavy]	0.75-0.87		Липецкая область [Lipetsk region]
Глина огнеупорная [Refractory clay]	0.88-1.03		Воронежская область [Voronezh Region]
Известняк брахиоподовый [Brachiopod limestone]		0.49-0.55	Воронежская область [Voronezh Region]
Мергель [Marl]	0.64-0.76		Воронежская область [Voronezh Region]
Мел [Chalk]	0.55-0.58		Воронежская область [Voronezh Region]
Углисто-алевролитовый сланец [Carbonaceous siltstone shale]		0.65	Донбасс [Donbass]
Уголь [Coal]		0.54	Донбасс [Donbass]

Методика оценки сводилась к следующему. Выборка из 15-ти непрерывных замеров в одной точке разбивалась на фракталы по десять, пять и три замера. Для каждого фрактала вычислялось среднее значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации и доверительный интервал. В качестве критерия достаточности принято значение коэффициента вариации в 10 % (в статистике принято, что, если коэффициент вариации меньше 10 %, то степень рассеивания данных считается незначительной). Доверительный интервал рассчитывался с целью экспресс-контроля измерений в полевых условиях. По результатам эксперимента сделан вывод о достаточности пяти замеров (что совпадает с рекомендациями предприятия изготовителя прибора для предусмотренных им способов измерений). В отдельных случаях можно ограничиться и тремя замерами, если размах отклонений не превышает 10 % .

Ниже на конкретном примере показана оценка минимально необходимого количества снятия показаний при доверительной вероятности 0.9 в точке наблюдения № 1 (табл. 2).

Из таблицы 2 можно видеть, что средние значения энергии гамма-излучения при размахе выборки от 15 до 5 членов отличаются лишь на тысячные и сотые доли единицы. Более существенная разница в отклонениях между минимальным и максимальным средним в выборках их трёх замеров. В данном случае коэффициент вариации не превышает 10 %, в том числе и для фракталов из трёх измерений. Но поскольку размах значений при доверительной вероятности в 0.9 в последнем случае практически охватывает диапазон вариаций энергии излучения всех литологических разностей, то следует вывод о недостаточности снятия только трёх показаний, но пятью вполне можно ограничиться.

Табл. 2. Статистическая обработка данных замеров энергии гамма излучения в точке наблюдения №1
 [Table 2. Statistical processing of gamma radiation energy measurements at observation point no. 1]

Количество замеров по фракталам выборки [Number of measurements by fractals of the sample]									
	15	10	5	5	5	5	3	3	3
Энергия гамма-излучения (МэВ) [Gamma radiation energy (MeV)]									
	0.75	0.75	0.73	0.75	0.73	0.65	0.75	0.65	0.65
	0.69	0.69	0.65	0.69	0.65	0.73	0.69	0.67	0.60
	0.68	0.68	0.60	0.68	0.60	0.67	0.68	0.73	0.7
	0.65	0.65	0.7	0.65	0.7	0.71			
	0.67	0.67	0.63	0.67	0.63	0.65			
	0.73	0.73	0.65						
	0.65	0.65	0.73						
	0.60	0.60	0.67						
	0.7	0.7	0.71						
	0.63	0.63	0.65						
	0.65								
	0.73								
	0.67								
	0.71								
	0.65								
Среднее [Average]	0.677	0.675	0.672	0.688	0.662	0.682	0.707	0.683	0.650
Стандартное отклонение [St.dev.]	0.041	0.045	0.044	0.038	0.053	0.046	0.038	0.042	0.050
Коэф. вариации % [Coef.vari%.]	6.1	6.71	6.54	5.48	7.95	5.33	5.36	6.09	7.69
Коэф. Стьюдента [Coef. Student]	1.75	1.83	1.83	2.13	2.13	2.13	2.92	2.92	2.92
Дов. интерв: [Dov. interv:]	0.07	0.083	0.080	0.080	0.112	0.077	0.111	0.122	0.146
Диапазон: от [Range: from]	0.750	0.758	0.752	0.768	0.774	0.759	0.817	0.805	0.796
Диапазон: до [Range: up to]	0.605	0.592	0.592	0.608	0.550	0.605	0.596	0.562	0.504

Оценка влияния метеоусловий

Температурный фактор.

Актуальность данной задачи связана с рекомендациями нормативных документов [4] не проводить радиологические измерения в период снижения температуры ниже 10°C . Чтобы понять насколько это ограничение справедливо к предлагаемому методу, сравним результаты измерений в одной и той же точке в холодный и теплый периоды года (2022 г).

Из сравнения данных в таблице 3 можно сделать вывод, что разница лишь температурных условий по сезонам не меняет оценочного результата измерений.

Снежный покров.

Проанализируем данные эксперимента в точке №1 по изучению возможности проводить измерения непосредственно с поверхности снежного покрова при раз-

ной его высоте (часть снежного сугроба при эксперименте удалялась).

Анализ результатов статистической обработки данных (табл. 4) показывает, что замеры с поверхности снежного покрова отличаются от замеров с грунта с очевидной направленностью снижения значений с увеличения высоты снежного покрова. При этом возрастает коэффициент вариации, хотя и остается менее 10 %. Скорее всего, это связано не со свойством снега поглощать энергию излучения, а с удалением прибора от поверхности грунта на высоту снежного покрова. Данный вывод основан на замерах в воздухе на ту же высоту. Следовательно, делаем вывод, что зимние условия нашего региона не являются ограничением для метода, но при наличии снежного покрова замеры необходимо проводить с грунта.

Табл. 3. Сравнение результатов замеров энергии гамма-активности суглинков в точке № 2 в январе и мае 2022 г.
[Table 3. Comparison of the results of measurements of the energy of gamma activity of loams at point no. 2 in January and May 2022.]

Дата [Date]	Температура [Temperature] $^{\circ}\text{C}$	Номер замера [Measurement number]	Значение МэВ [The value of MeV]	Дата [Date]	Температура [Temperature] $^{\circ}\text{C}$	Номер замера [Measurement number]	Значение МэВ [The value of MeV]	
18.01.22	-13-15	1	0.7	19.05.22	+16	1	0.71	
		2	0.73			2	0.65	
		3	0.72			3	0.71	
		4	0.72			4	0.76	
		5	0.67			5	0.67	
		6	0.81			6	0.73	
		7	0.71			7	0.69	
		8	0.74			8	0.69	
		9	0.76			9	0.72	
		10	0.70			10	0.72	
		Среднее [Average]	0.726				Среднее [Average]	0.709
		Ст. откл [St.dev.]	0.038				Ст. откл [St.dev.]	0.0345
		Коеф. вар% [Coef.vari%.]	5.28				Коеф. вар [Coef.vari]	4.86

Оценка влияния подстилающего и перекрывающего слоя

Существует понятие истинного и кажущегося явления. Это можно отнести и показаниям измерительных приборов. Осадочные толщи слоисты и когда измерение производится с почвы, то неизвестно: полученное значение связано с верхним слоем кровли или же отражает интегральные или усредненные свойства всей толщи. Важно знать границы зоны такого влияния. Принципиальное значение имеет характер влияния почвенного покрова. Как и в случае снежного покрова, возникает вопрос, с какой глубины делать замер? Почва минерально-органическое образование, и в отличие от снега способна концентрировать радионуклиды. С другой стороны, почва генетически и пространственно

тесно связана с литогенным субстратом и можно ожидать несущественное отличие между ними по энергии гамма-излучения.

Опыт показывает, что радиационные особенности породы проявляются не только в грунтовом массиве, но и в штупах с площадкой, по крайней мере, соразмерной прибору. Важно оценить взаимовлияние грунтового основания и объекта в случае контрастно отличающихся радиационных свойств. Какая должна быть мощность последнего, чтобы быть уверенным – снятый замер полностью соответствует объекту, а не искажен влиянием основания. Проявляется ли и в какой степени экранирующий эффект? Известно, что гамма-излучение легко проникает через любые перегородки кроме свинцовых, но не изучено взаимодействие потоков

Табл. 4. Разница значений энергии излучения с грунта и с поверхности снежного покрова разной высоты в точке наблюдения № 1
[Table 4. The difference in the values of the radiation energy from the ground and from the surface of the snow cover of different heights at observation point no. 1]

Дата [Date]	Высота снежного покрова м [Snow cover height m]	Температура [Temperature] °C	Значение мЭв [The value of MeV]	Высота снежного покрова м [Snow cover height m]	Температура [Temperature] °C	Значение мЭв [The value of MeV]	Высота снежного покрова м [Snow cover height m]	Температура [Temperature] °C	Значение мЭв [The value of MeV]
18.012 022	0	0	0.71	0,2	+1	0.65	1.0	+1	0.61
			0.68			0.64			0.55
			0.58			0.73			0.70
			0.79			0.62			0.60
			0.76			0.61			0.50
			0.68			0.71			0.61
			0.71			0.75			0.68
			0.66			0.62			0.67
			0.68			0.59			0.58
			0.73			0.67			0.66
			0.67			0.53			0.63
			0.73			0.65			0.56
			Среднее			0.647			0.610
			Ст. откл			0.0617			0.059
			К.вариации			9.527			9.67

излучения, генерируемых отдельными слоями литогенной толщи. Имеет ли место эффект аддитивности (сложения), или же прибор фиксирует излучение самого активного из ближайших слоев? Какова поглощающая способность тех или иных пород, далеких по своим свойствам от свинца? Скорее всего, физики знают ответы на эти вопросы. Но нас в данном случае интересовала практическая сторона дела, поэтому и ответ на него мы искали эмпирическим путем.

Провели эксперимент-моделирование с чередованием верхнего и нижнего положения слоев разной активности, используя материалы с заведомо известными уровнями энергии излучения. В качестве основания использовались как грунты в ненарушенном залегании (суглинки, перекрытые черноземной почвой), так и кучи насыпного материала толщиной не менее 0.5 м с площадью 3x3 м (песок, глина и дресва граносиенитов). Кучный материал имитировал определенный по составу грунтовый массив. В качестве объектов (верхнего слоя) использовались два вида строительного кирпича: белый силикатный и красный керамический. Кирпичи играли роль техногенного аналога горных пород разного минерального состава. Кирпич силикатный представляет собой цементованную смесь песка и извести в соотношении 2:1, а красный – спрессованная обожженная легкоплавкая глина в основном иллитового состава с небольшими добавками песка. Кирпичи соразмерны прибору, поэтому удобны для имитации объекта измерения разной мощности (стопки толщиной от 0.1 до 0.5 м, рис. 4).



Рис. 4. Изучение взаимного влияния активного грунтового основания (граносиенитовая дресва) и верхнего слоя (стопка кирпича высотой 0.5м).

[Fig. 4. Study of the mutual influence of the active soil base (granosienite soil) and the upper layer (a stack of bricks 0.5 m high).]

Ниже на рис. 5 отображены результаты эксперимента разных комбинаций «объект – основание».

Анализ результатов данного эксперимента позволяет сделать следующие выводы.

1. Литологический состав грунтового основания оказывает влияние на измеренное значение энергии гамма-излучения перекрывающего слоя (объекта). Более сильное основание увеличивает показание прибора, а более слабое снижает. Однако увеличение мощности измеряемого слоя (объекта) уже до 0.5 м фактически сводит на нет это влияние.

2. Верхний слой насыпного чернозема толщиной в 0.1 м снизил активность излучения естественно-

го грунтового основания (почва-суглинок) на 3 %, а слой в 0.5 м – на 7 %. Следовательно, гумусовый горизонт А (обычно с мощностью менее 0.5 м) снижает, хотя и незначительно активность подстилающих суглинков, а его собственная активность оценивается на уровне кварцевого песка и угля. Тем не менее, замеры в поле при литологическом картировании лучше делать в закопушках, глубже почвенного горизонта А.

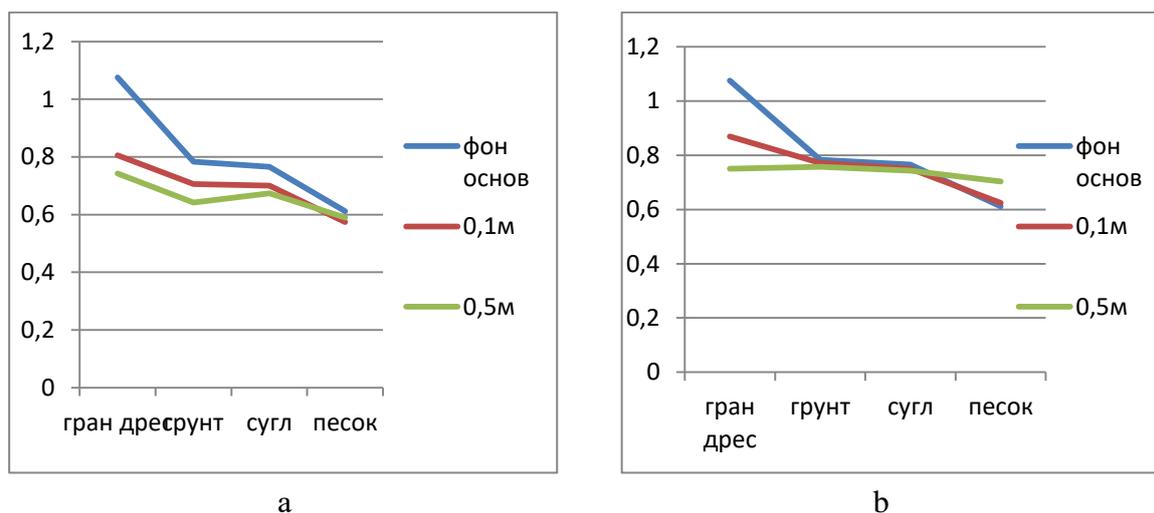


Рис. 5. Изменения энергии (МэВ) гамма-излучения силикатного (а) и керамического (б) кирпича в слоях толщиной 0.1 м и 0.5 м на разном основании.

[Fig. 5. Changes in the energy values (MeV) of gamma radiation of silicate (a) and ceramic (b) bricks in layers 0.1 m and 0.5 m thick on different bases].

Заключение

1. Измеряемая с поверхности почвы энергия гамма-излучения с меньшей вариативностью, чем другие параметры ионизационного поля, отражает собственные свойства горных пород. Возможно, это связано лишь с конструктивными особенностями радиометра-дозиметра РКС-107, поскольку длительность снятия разового замера энергии излучения этим прибором, задаваемая автоматически, в четыре раза больше. В любом случае, отдельно взятый геологический объект определенного химического состава проявляет себя высокой степенью постоянства значений энергии гамма-излучения.

2. Энергия гамма-излучения геологических объектов является функцией их химического и минерального состава, но и не только. При проведении опытного картирования (результаты в данной статье не приводятся), установлено, что данным способом выявляются точки аномально высоких значений энергии излучения, не соответствующие вещественному составу подпочвенного субстрата. Приуроченность таких аномалий к природным линейным элементам, заставляет предполагать их связь с зонами повышенной плотности потока радона, что в отдельных случаях нами и было установлено. Но для репрезентативности данных требуются дальнейшие исследования.

3. Полученные результаты проведенных исследований с отработанными деталями методики опробования в зависимости от ряда природных и неизбежных в практике условий, с демонстрацией в дальнейшем результатов опытных съемочных работ, могут стать основой нового метода картирования (возможно, как вспомогательного). Отличаясь высокой производительностью и малой затратностью, он способен отображать литологическую неоднородность грунтовых массивов практически с неограниченной детальностью, что особенно важно при проведении ландшафтного, инженерно-геологического, инженерно-экологического картирования.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи

ЛИТЕРАТУРА

- Бобров А.А. Исследование объемной активности радона в разломных зонах Приольхонья и южного Приангарья: методика и предварительные результаты // *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2008. Вып. 6 (32). С. 124–129.
- Микляев П. С. Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий. Дисс. ... д-ра геол. мин. наук. М.: ИГЭ РАН. 2015. 207с
- Ильяш В. В. Анализ причин неоднородностей и временных

вариаций радонового поля в ландшафтах центрального Черноземья // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология*. 2018. № 4. С. 85–89.

4. Методические указания. Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. 27 с.

5. Гулябянц Л.А. Противорадоновая защита жилых и общественных зданий. Под ред. И. Л. Шубина. Москва, Берлин: Директ-Медиа. 2020. 236 с.

6. Журавлев Р.С., Кузнецов В.А., Осипов Д.К. Радиоактивные элементы в горных породах // Труды института геологии и геофизики. Новосибирск: Наука, 1975. 297 с.

PALEONTOLOGY, LITHOLOGY, STRATIGRAPHY

UDC 550.4.08

ISSN 1609-0691

DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/1/18-28>

Received: 11.12.2022

Accepted: 02.03.2023

Published online: 31.03.2023

The method of lithological dissection and mapping of near-surface deposits based on the assessment of differences in gamma–radiation energy

©2023 V. V. Ilyash✉

*Voronezh State University, Universitetskaya sq., 1,
394018, Voronezh, Russian Federation*

Abstract

The results of field experiments on the study of the possibility of using the differences of rocks in the energy of gamma radiation to develop a method for mapping the lithological heterogeneity of soil massifs and identifying disturbed zones in them are presented. When using the radiometer-dosimeter RKS-107 in experiments, it was found that in the third operating mode with the detector lid closed, when measuring from the soil surface under the same conditions, the gamma radiation energy is recorded in this way in values with less variability than in the measurement modes of other radiation field parameters. The influence of various factors (soil and snow cover, seasonal conditions, air temperature, different gamma activity and thickness of underlying and overlapping rocks) on the variability of gamma radiation energy values has been studied. It is shown that these conditions are not limiting for the application of this method of assessing the radioactive properties of rocks as an auxiliary method in landscape, engineering-geological, engineering-ecological mapping. It is shown that petrochemical varieties of rocks have stable and narrow ranges of gamma radiation energy. For terrigenous autochthonous deposits, this range is determined by the ratio of detrital quartz and clay matrix.

Keywords: lithological mapping, radiological methods, radiometer-dosimeter, gamma radiation energy, disturbed zones, engineering surveys

For citation: Ilyash V. V. The method of lithological dissection and mapping of near-surface deposits based on the assessment of differences in gamma–radiation energy // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 1, pp. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/1/18-28>

Conflict of interests: The author declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Valeriy V. Ilyash, e-mail: vvikii@mail.ru

REFERENCES

1. Bobrov A.A. Issledovanie ob'emnoj aktivnosti radona v razlomnyh zonah Priol'hon'ja i juzhnogo Priangar'ja: metodika i predvaritel'nye rezul'taty [Investigation of the volumetric activity of radon in the fault zones of the Priolkhonye and the southern Angara region: methodology and preliminary results]. *Izvestija Sibirskogo otdelenija Sekcii nauk o Zemle RAEN. Geologija, poiski i razvedka rudnyh mestorozhdenij – Izvestiya Sibirskogo secession of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits*, 2008, no. 6 (32), pp. 124–129. (In Russ.)
2. Mikljaev P. S. Nauchnye osnovy ocenki potencial'noj radonoopasnosti platformennyh territorij Diss. D-ra geol. min. nauk [Scientific bases for assessing the potential radon hazard of platform territories. Diss. Dr. geol. min. Sciences]. Moscow, IGE RAN, 2015. 207 p. (In Russ.)
3. П'jash V. V. Analiz prichin neodnorodnostej i vremennyh variacij radonovogo polja v landshaftah central'nogo Chernozem'ja [Analysis of the causes of inhomogeneities and temporal variations of the radon field in the landscapes of the central Chernozem region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Geologija –Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2018, no. 4, pp. 85–89. (In Russ.)
4. Metodicheskie ukazanija. Federal'nyj centr gigieny i jepidemiologii Rospotrebnadzora [Methodological guidelines. Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor]. 2009. 27 p. (In Russ.)
5. Gulabjanc L.A. Protivoradonovaja zashhita zhilyh i obshhestvennyh zdaniy [Anti-tornado protection of residential and public buildings] Ed. I. L. Shubina. Moscow; Berlin, Direct-Media publ., 2020, 236 p. (In Russ.)
6. Zhuravlev R.S., Kuznecov V.A., Osipov D.K. Radioaktivnye jelementy v gornyh porodah [Radioactive elements in rocks]. *Trudy instituta geologii i geofiziki* [Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics]. Novosibirsk, Nauka publ., 1975, 297 p. (In Russ.)

Ильяш Валерий Владимирович – к. г.-м. н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vvikii@mail.ru, ORCID – 0009-0007-5081-4044
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Valeriy V. Ilyash – PhD in Geol-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; e-mail: vvikii@mail.ru; ORCID – 0009-0007-5081-4044
Author have read and approved the final manuscript.