

А.С. Куляндина, Е.А. Максимов, А.С. Свинобоев, М.Р. Марсанова

СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

О РЕЗУЛЬТАТАХ РАДИАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕСТ НАИБОЛЬШЕГО СКОПЛЕНИЯ ЛЮДЕЙ В Г. ЯКУТСК

Аннотация. Научный и практический интерес представляют исследования по оценке радиационной обстановки. Мониторинг, контроль и выявление радиационной обстановки являются весьма важными задачами при планировании строительства, возведении зданий, сооружений и прочих конструкций, поскольку превышение уровня радиации имеет негативное воздействие на человека. Командой школьников и наставников, состоящей из студентов 3 и 4 курса геологоразведочного (ГРФ) СВФУ, а также аспиранта 2 курса ГРФ СВФУ под руководством автора к.г.-м.н. Марсановой М.Р. проекта «Радиационное обследование территории г. Якутска» программы Сириус.Лето проведена пешеходная гамма-съемка радиометром СРП-68-01 с целью исследования радиационной обстановки и выявления аномальных участков на местах основного скопления людей и определение ее соответствия требованиям действующей нормативно-технической документации по радиационной безопасности. В результате пешеходной гамма-съемки была произведена обработка геофизической информации и интерпретация геофизических данных в ГИС программах, а также проектирование и разработка базы данных, содержащей информацию, необходимую для достоверного анализа радиационной обстановки.

В качестве мощного источника излучения, опасного для здоровья и жизни человека, может выступать совершенно любой радиоактивный предмет или вещество. И, в сравнении со многими другими возможными опасностями радиацию невозможно почувствовать или увидеть.

Определить ее уровень можно только специальными приборами. В данной работе использовался радиометр СРП-68-01.

Построена сеть наблюдений для определения радиационного фона, произведены замеры с помощью радиометра и выявлены «очаги радиации», а также составлена карта радиационного фона объектов изучения.

Ключевые слова: радиометр, источник излучения, радиационная безопасность, гамма-съемка, радиоактивность, экспозиционная доза, радиометрия, радионуклиды, поглощенная доза, гамма-излучение.

КУЛЯНДИНА Альбина Семеновна – аспирант кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ГРФ СВФУ. E-mail: albineku@gmail.com

KULYANDINA Albina Semenovna – post-graduate student, Department of Geophysical Methods of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University. E-mail: albineku@gmail.com

МАКСИМОВ Евгений Аркадьевич – студент кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ГРФ СВФУ. E-mail: ytyk.evgeniy@mail.ru

MAXIMOV Evgeniy Arkadyevich – student, Department of Geophysical Methods of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University. E-mail: ytyk.evgeniy@mail.ru

СВИНОБОЕВ Айсен Сергеевич – студент кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ГРФ СВФУ. E-mail: jecson38@mail.ru

SVINOBOEV Aisen Sergeevich – student, Department of Geophysical Methods of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University. E-mail: jecson38@mail.ru

МАРСАНОВА Мария Романовна – к.г.-м.н., доцент кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых ГРФ СВФУ. E-mail: marigotov@mail.ru

MARSANOVA Maria Romanovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences Associate Professor, Department of Geophysical Methods of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Survey, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University. E-mail: marigotov@mail.ru

A.S. Kulyandina, E.A. Maximov, A.S. Svinoboev, M.R. Marsanova
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

ON THE RESULTS OF RADIATION RESEARCH AT PLACES OF THE GREATEST CUMULARITY OF PEOPLE IN YAKUTSK

Abstract. The study of the assessment of the radiation situation is of scientific and practical interest. Monitoring, control and detection of radiation hazard is an extremely important task in planning construction, future buildings, reconstruction and construction, since exceeding the level of radiation has a negative impact on humans. A team of schoolchildren and teachers, consisting of 3rd and 4th year students of the NEFU Faculty of Geology and Survey, as well as a 2nd-year postgraduate student of the NEFU Faculty of Geology and Survey under the supervision of M. R. Marsanova, Candidate of Geological and Minearolgical Sceinces, worked on of the project “Radiation survey of the territory of Yakutsk” within the Sirius Program. Last summer an on-foolt gamma survey was carried out with the SRP-68-01 radiometer in order to study radiation correction and limit anomalous areas to the main observations of people and determine its compliance with the requirements of the current regulatory and technical documentation on radiation safety . As a result of studying the database of gamma-ray survey, the processing of geophysical information and the interpretation of geophysical data in GIS programs, as well as the design and development of data, the impact taken for the analysis of radiation hazard was identified.

As a result of a powerful search, dangerous to human health and life, absolutely any radioactive object or substance can be used; in some cases, with many possible dangers that are impossible to detect.

It is possible to determine its level only by higher devices. In this work, the SRP-68-01 radiometer was used.

The probability for determining the radiation lantern was built, measurements were made using a radiometer and “radiation centers” were determined, and a map of the study of the radiation lantern was drawn up.

Keywords: radiometer, radiation source, radiation safety, gamma imaging, radioactivity, exposure dose, radiometry, radionuclides, absorbed dose, gamma radiation.

Введение

Радиационная безопасность является одним из важнейших гигиенических критериев экологической безопасности. Радиоактивность может быть, как естественной, так и искусственной (рис. 1).



Рис. 1. Основные источники радиации

В наше время участились случаи обнаружения повышенной радиоактивности строительных материалов, а это может нанести немалый вред здоровью человека.

Естественная радиоактивность – это самопроизвольный распад атомных ядер, встречающихся в природе. Она встречается буквально повсюду. Ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой планеты. Радиоактивные материалы вошли в состав земной коры. Таким образом, основными источниками естественной радиации являются космические лучи и внутренняя радиация Земли.

Природная (естественная) радиоактивность отражает содержание таких радиоактивных веществ как радий (^{226}Ra), торий (^{232}Th), калий (^{40}K) в различной концентрации в минеральном сырье, используемом в строительстве. Природная радиоактивность характерна как для сырья (щебень, песок, цемент и пр.), так и для готовой продукции (кирпич, керамическая плитка, железобетонные конструкции, бетон и растворы, искусственные камни, облицовочные плиты) [2].

Многие строительные материалы являются природными компонентами (природный камень) и поэтому содержат в составе химические элементы с радиоактивными изотопами. Однако, природная радиоактивность сильно колеблется в зависимости от вида почвы, от состава минералов, выходящих на поверхность месторождения.

Вулканические породы (гранит, пемза, туф, графит) имеют выше уровень радиоактивности, чем осадочные породы (карбонатные породы, известняк, песок). Самыми безопасными материалами для строительства считаются кирпич, бетон и дерево. Известно, что у кирпичных, каменных и бетонных зданий мощность дозы излучения в 2–3 раза выше, чем у деревянных.

Основные проблемы в части радиационной безопасности строительных материалов связаны применением гранитного щебня. К сожалению, поставки минерального сырья осуществляются по паспортам качества, которые не являются документами строгой отчетности. Поэтому рекомендуется проводить проверку на радиоактивность строительного материала до его использования на строительной площадке и на стадии сдачи объекта в эксплуатацию.

Одним из крупнейших источников радиации на строительной площадке является уголь, хотя он содержит малое количество первичных радионуклидов. При сжигании угля образуется зола, зольная пыль и шлак. Именно в них и концентрируются радионуклиды. Использование золы в качестве добавки к цементам и бетонам может привести к увеличению радиационного облучения и таким образом вносит существенный вклад в облучение населения.

Загрязнение радионуклидами бывает снимаемое (можно смыть) и не снимаемое (нельзя смыть, не поддается очистке). Высокое содержание радионуклидов в строительных материалах, а также загрязнение поверхностей помещения различными радионуклидами, которые оседают в аэрозольной форме приводит к внешнему гамма-облучению.

Гамма-лучи – это электромагнитное излучение с очень высокой проникающей способностью, в отличие от альфа-излучения и бета-излучения. Оно способно пронизывать человека насквозь. Энергия гамма-излучения гораздо больше энергии любого другого излучения. От гамма-лучей не спасает даже костюм радиационной защиты, а специализированные бункеры со свинцовой защитой лишь ослабляют влияние гамма-лучей на организм человека. Однако, благодаря своим свойствам, гамма-излучение широко применяется в нашей жизни. Например, в пищевой промышленности – для консервирования путем подавления роста пищевых бактерий и увеличения срока хранения продукта; гамма-дефектоскопия; стерилизация медицинских инструментов; лучевая терапия; строительство.

Виды радиоактивного излучения: альфа, бета и нейтронное излучение – это излучения, состоящие из различных частиц атомов. Гамма и рентгеновское излучение – это излучение энергии (рис. 2).

Альфа (α) излучение возникает при распаде нестабильных изотопов элементов. Нейтронное излучение – это техногенное излучение, возникающие в различных ядерных реакторах и при атомных взрывах. Также нейтронная радиация излучается звездами, в которых идут активные термоядерные реакции. Бета (β) излучение возникает при превращении одного элемента

в другой, при этом процессы происходят в самом ядре атома вещества с изменением свойств протонов и нейтронов. Гамма (γ) излучение – это энергетическое электромагнитное излучение в виде фотонов. Рентгеновское излучение возникает при переходе электрона внутри атома с одной орбиты на другую.

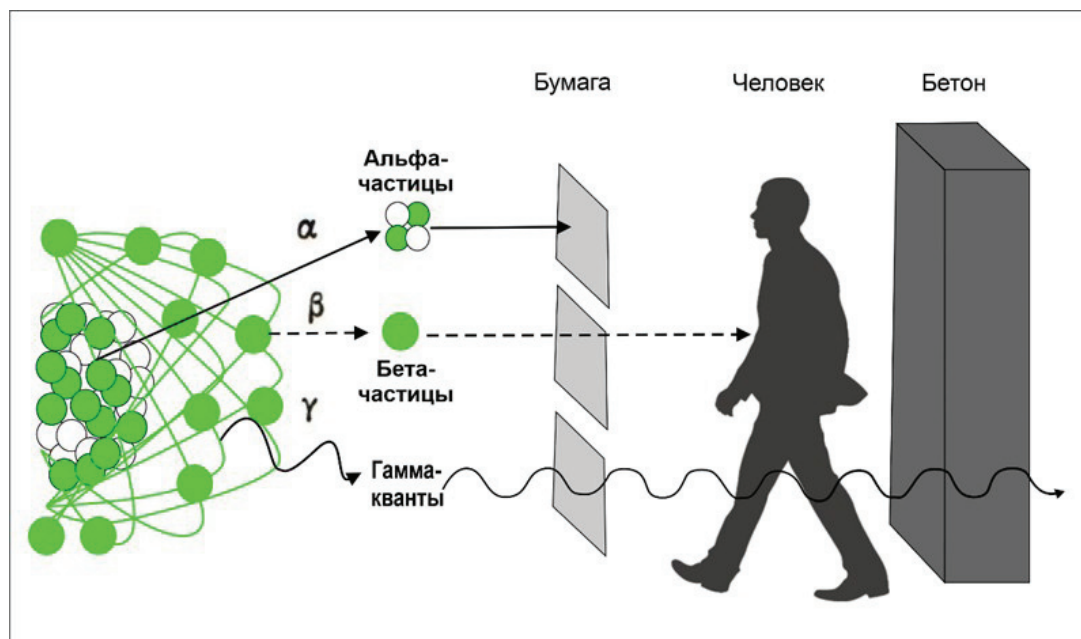


Рис. 2. Виды радиоактивного излучения и его проникающая способность

Опасность радиоактивного излучения состоит в том, что при распаде радионуклида образуются изотопы химических элементов, принадлежащие соседним группам периодической системы, что может привести к разрыву химических связей и перестройке молекул организма. Эффект радиационного воздействия может проявиться совсем не в том месте, которое подвергалось облучению.

Количественно воздействие радиации можно охарактеризовать несколькими величинами:

*Поглощенная доза – отношение ионизирующей энергии, переданной веществу к массе этого вещества. Единица измерения грей [Гр] или рад [рад].

*Мощность излучения – приращение дозы в единицу времени. Единица измерения грей в секунду [Гр/с].

Таблица – Воздействие радиации на человека в зависимости от дозы

Доза (Зв)	Воздействие на человека
0 – 0,25	Отсутствие явных признаков
0,25 – 0,50	Возможны изменения состава крови
0,50 – 1,00	Изменения в крови, усталость, тошнота
1,0 – 2,0	Изменения в крови, рвота, явные патологические изменения
2,0 – 4,0	Нетрудоспособность, кровоизлияния
Более 4,0	Смерть около 50 %, тяжелая степень лучевой болезни
Более 6,0	Повреждения центральной нервной системы, смертность около 100 %
Более 8,0	Смерть неизбежна

*Эквивалентная доза – величина, определяющая воздействие излучения на организм, равная произведению поглощенной дозы на коэффициент качества. Коэффициент качества показывает

во сколько раз радиационная опасность от воздействия на живой организм данного вида излучение больше, чем от воздействия гамма-излучения ($K_\gamma=1$). Единица измерения зиверт [Зв]. 1 микрорентген в час [мкР/ч] = $2,778 \cdot 10^{-12}$ зиверт в секунду [Зв/с] [1].

Биологическое воздействие радиации совершенно неощутимо человеком. Можно находиться в зоне с высоким радиационным фоном длительное время и ничего не чувствовать. Дело в том, что скрытый период действия радиации может быть достаточно продолжительный. Кроме того, полученные дозы облучения имеют свойство накапливаться в организме.

Облучение гамма-квантами может вызвать хроническую и острую лучевую болезнь, различные виды онкологических заболеваний, мутации, а также к угнетению иммунной системы организма и сделать его восприимчивым к различным заболеваниям.

Наиболее интенсивно облучаются органы, через которые поступили радионуклиды в организм (органы дыхания и пищеварения), а также щитовидная железа и печень.

Исследования показали, что при облучении дозой в 1 Гр вероятность возникновения онкологических заболеваний возникает у 10 человек из 1000, а наследственных дефектов – у 2 человек из 1000.

На сегодняшний день основную часть облучения люди получают в повседневной жизни. На рисунке 1 можно увидеть, что практически всё, что нас окружает, имеет в себе радиационную составляющую.

Ежегодные наблюдения за общим радиационным фоном г. Якутска – выполняют службы Росгидромета.

Описание проекта

Научный и практический интерес представляют исследования по оценке радиационной обстановки. Проведение радиационного мониторинга мест наибольшего скопления людей на территории г. Якутска, контроль и выявление аномалий уровня гамма-фона имеет важное значение, поскольку превышения уровня радиации имеет негативное последствие для человека.

Метод исследования

Пешеходный (наземный) гамма-метод.

Команда школьников и наставников из различных регионов РФ под руководством автора проекта провели:

- пешеходную гамму-съемку, обеспечивающих сбор необходимой геофизической информации на следующих участках города Якутска: на площади Орджоникидзе и площади Дружбы.
- обработку геофизической информации и интерпретацию геофизических данных в ГИС программах.
- проектирование и разработку базы данных, содержащей информацию необходимую для достоверного анализа радиационной обстановки.

Цель проекта

Исследование радиационной обстановки и выявления аномальных участков на планируемых объектах и определение ее соответствия требованиям действующей нормативно-технической документации по радиационной безопасности.

Задачами данной работы по радиационному обследованию являются оценка современного естественно-техногенного уровня гамма-фона.

Пешеходная (поверхностная) гамма-съемка – один из основных поисковых и разведочных методов радиометрических исследований. Ее проводят с помощью полевых радиометров и спектрометров. Радиометры или спектрометры с помощью стандартных образцов (эталонов) гамма-излучения периодически градуируют. Это необходимо для определения цены деления шкал интегральной или спектральной радиоактивности. По данным градуировки можно определять мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (в мкР/ч) [3].

Следует различать радиоактивность и радиацию. Источники радиации – радиоактивные вещества или ядерно-технические установки (реакторы, ускорители, рентгеновское оборудова-

ние и т.п.) – могут существовать значительное время, а радиация существует лишь до момента своего поглощения в каком-либо веществе.

Радиация или ионизирующее излучение – это частицы и гамма-кванты, энергия которых достаточно велика, чтобы при воздействии на вещество создавать ионы разных знаков. Радиацию нельзя вызвать с помощью химических реакций.

Методика пешеходной гамма-съемки

Объекты исследования: площадь Орджоникидзе (рис. 3) и площадь Дружбы народов (рис. 4). **Площадь Орджоникидзе** украшает большой фонтан. Каждое лето дети резвятся и веселятся вокруг него. Зимой на нем устанавливают светодиодную конструкцию, и фонтан по вечерам светится сине-голубым цветом. На площади также находится гордость якутского народа – Саха театр, рядом установлен памятник, посвященный великому классику П.А. Ойунскому. Также тут проводятся различные мероприятия и праздники.

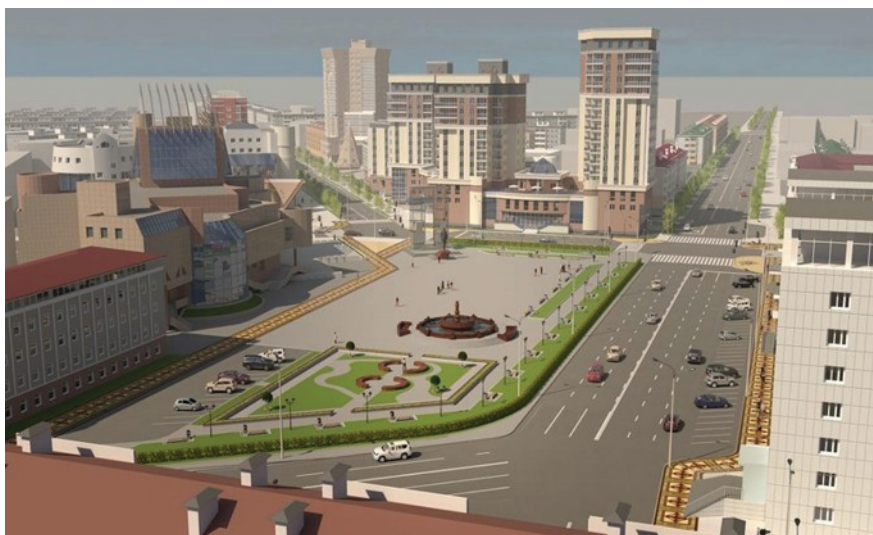


Рис. 3. Площадь Орджоникидзе

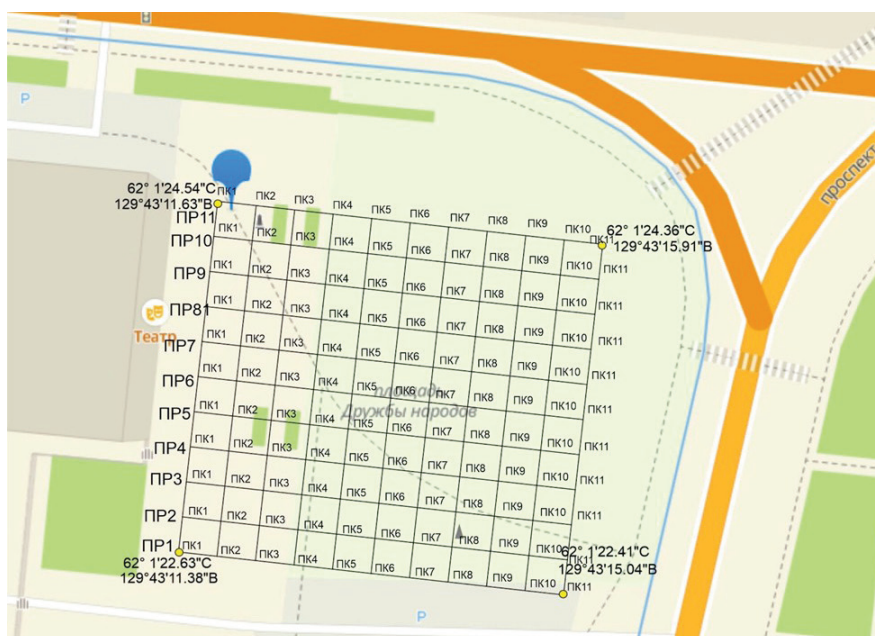


Рис. 4. Маршрут проведения полевой гамма-съемки на площади Дружбы народов г. Якутск.
Непрерывное профилирование, сетка наблюдений

Социально-значимые объекты рядом с местом исследования: Управление федеральной почтовой связи РС (Я), Управление по делам ГО, ЧС и обеспечения пожарной безопасности, Саха академический театр им. П.А. Ойунского. Размеры объекта исследований 11900 м².

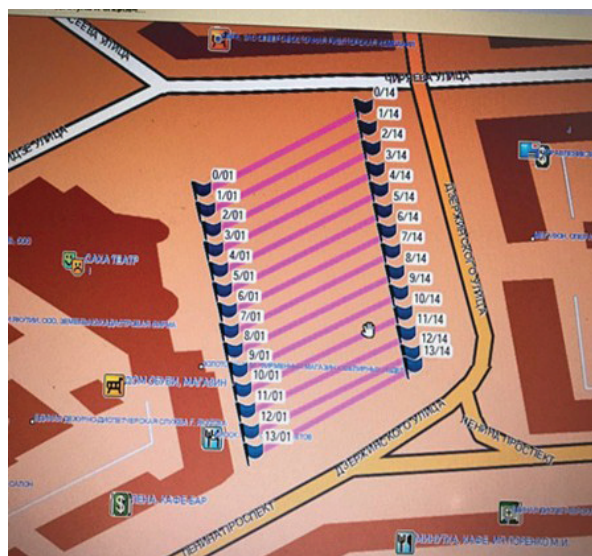
Профилирование в геофизике – это непрерывные геофизические наблюдения, последовательно продолжающие друг друга по проложенным на местности линиям (профилям) с целью получения по ним геолого-геофизических разрезов земных недр.

Оптимальной сетью геофизических наблюдений называют сеть, которая с заданной вероятностью обеспечивает решение поставленной геологической задачи при относительно малых затратах средств.

Сеть наблюдений строилась в программе MapSource и онлайн карте Google maps. Вначале были отмечены границы для объекта исследований в онлайн карте, затем рассчитан шаг наблюдений. Шаг наблюдений между профилями 10 м, между точками 5 м. Профиля запроектированы в программе MapSource, всего 13 профилей по 10 точек на каждом профиле (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Схема профилей на площади Орджоникидзе
а – пл. Орджоникидзе (вид сверху); б – схема профилей на пл. Орджоникидзе

В результате обработки данных построена карта изолиний гамма-активности. Как мы видим, на карте изолиний возле фонтана на пл. Орджоникидзе радиационный фон достигает до 11 мкР/ч. Возле памятника П.А. Ойунского радиационный фон составил в пределах 18–25 мкР/ч. (нормальный фон 15–20 мкР/ч.) (рис. 6).

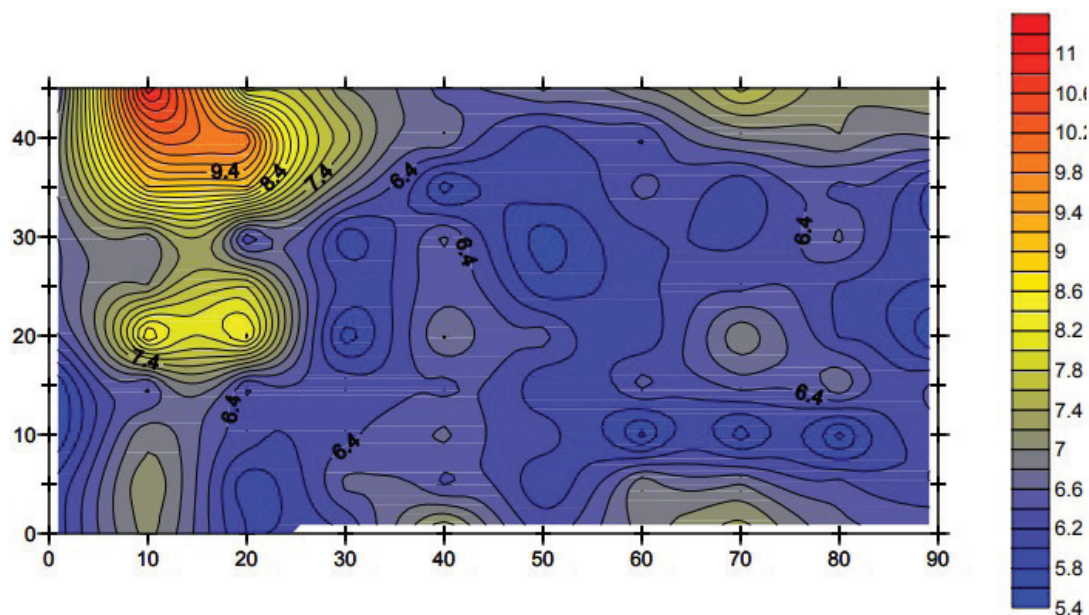


Рис. 6. Карта изолиний гамма-активности площади Орджоникидзе

Площадь Дружбы народов представляет собой большую бетонную площадку и имеет два памятника: Кулаковскому А.Е. и Сивцеву Д.К.

Также в план съемки попадают гранитные ступени парадного крыльца театра Оперы и балета.

По всей бетонной площадке радиометр показывал значение 6–8 мкР/ч. На территории памятника А.Е. Кулаковскому значение измерений не менялось, и не превышало 8 мкР/ч. Мраморный бордюр памятника Д.К. Сивцеву дал фон 15 мкР/ч. И самое высокое значение показывают гранитные ступени крыльца театра равное 25 мкР/ч. Все значения измерений на пикетах внесены в полевой журнал (рис. 7).

Журнал радиометрических работ							
Дата: 02.04.2022							
Название участка: Дружба народов							
Прибор: СРП-68-01							
Оператор: Романова Ю. Вычислитель: Бурнашев М.							
ПРН ₂	ПKN ₂	I, мкР/ч	Примечание	ПРН ₂	ПKN ₂	I, мкР/ч	Примечание
1	1	8	Бетон	6	6	8	Бетон
1	2	7	Бетон	6	7	8	Бетон
1	3	6	Бетон	6	8	8	Бетон
1	4	6	Бетон	6	9	8	Бетон
1	5	5	Бетон	6	10	8	Бетон
1	6	7	Бетон	6	11	8	Бетон
1	7	6	Бетон	7	1	25	Гранит
1	8	6	Бетон	7	2	8	Бетон
1	9	7	Бетон	7	3	7	Бетон
1	10	6	Бетон	7	4	8	Бетон
1	11	7	Бетон	7	5	8	Бетон
2	1	8	Бетон	7	6	8	Бетон
2	2	6	Бетон	7	7	8	Бетон
2	3	6	Бетон	7	8	8	Бетон
2	4	7	Бетон	7	9	8	Бетон
2	5	8	Бетон	7	10	8	Бетон
2	6	6	Бетон	7	11	8	Бетон
2	7	6	Бетон	8	1	25	Гранит
2	8	6	Памятник Кулаковскому	8	2	8	Бетон
2	9	6	Памятник Кулаковскому	8	3	8	Бетон
2	10	6	Бетон	8	4	7	Бетон
2	11	6	Бетон	8	5	8	Бетон
3	1	7	Бетон	8	6	8	Бетон
3	2	6	Бетон	8	7	7	Бетон
3	3	6	Бетон	8	8	8	Бетон
3	4	7	Бетон	8	9	8	Бетон
3	5	6	Бетон	8	10	8	Бетон
3	6	7	Бетон	8	11	8	Бетон
3	7	8	Бетон	9	1	25	Гранит
3	8	6	Памятник Кулаковскому	9	2	8	Бетон
3	9	6	Памятник Кулаковскому	9	3	8	Бетон
3	10	7	Бетон	9	4	7	Бетон
3	11	8	Бетон	9	5	7	Бетон
4	1	6	Бетон	9	6	8	Бетон
4	2	6	Бетон	9	7	7	Бетон
4	3	6	Бетон	9	8	8	Бетон
4	4	6	Бетон	9	9	8	Бетон
4	5	6	Бетон	9	10	7	Бетон
4	6	6	Бетон	9	11	8	Бетон
4	7	8	Бетон	10	1	8	Бетон
4	8	8	Бетон	10	2	15	Мрамор
4	9	8	Бетон	10	3	7	Бетон
4	10	8	Бетон	10	4	7	Бетон
4	11	8	Бетон	10	5	8	Бетон
5	1	8	Бетон	10	6	7	Бетон
5	2	8	Бетон	10	7	8	Бетон
5	3	8	Бетон	10	8	8	Бетон
5	4	8	Бетон	10	9	7	Бетон
5	5	8	Бетон	10	10	8	Бетон
5	6	8	Бетон	10	11	8	Бетон
5	7	8	Бетон	11	1	8	Бетон
5	8	8	Бетон	11	2	15	Мрамор
5	9	8	Бетон	11	3	8	Бетон
5	10	8	Бетон	11	4	8	Бетон
5	11	8	Бетон	11	5	7	Бетон
6	1	8	Бетон	11	6	7	Бетон
6	2	8	Бетон	11	7	8	Бетон
6	3	8	Бетон	11	8	7	Бетон
6	4	8	Бетон	11	9	8	Бетон
6	5	8	Бетон	11	10	8	Бетон
				11	11	7	Бетон

Рис. 7. Журнал записи измерений полевой съемки

По итогам проведенных работ для наглядной передачи информации построена карта. Карта интенсивности γ -активности это визуальное представление набора данных, полученных полевой гамма-съемкой, где значения данных отображаются в цветах (рис. 8). С помощью карты легко отследить уровень радиационного фона: взаимодействия определяются разными цветами и их оттенками, например, чем больше аномалия в той или иной части территории, тем темнее цвета и наоборот, чем меньше интенсивность γ -излучения, тем цвета холоднее.

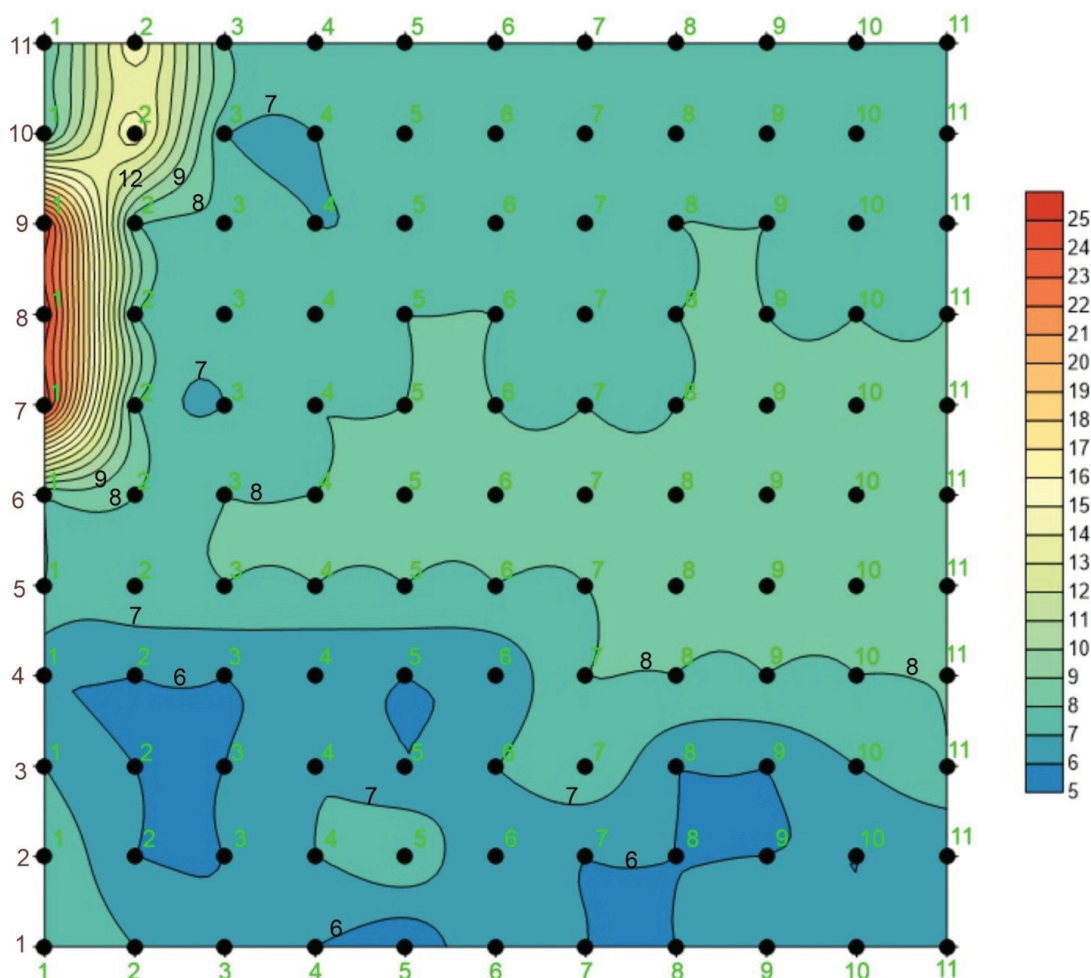


Рис. 8. Результаты измерений гамма-излучения на площади Дружба народов г. Якутск



Рис. 9. Проведение гамма-съемки школьником

Заключение

Из проделанных измерений сделан вывод, что радиационный фон площади Дружбы народов и площади Орджоникидзе г. Якутск в целом укладывается в допустимый. Местом высокого радиационного фона является гранитные ступени театра Оперы и балета (25 мкР/ч). Это связано с материалами, которые использовались при строительстве. Считается, что гранит образуется при столкновении континентальных плит, когда легкие магматические массы поднимаются на поверхность, образуя горные хребты. Гранит излучает радиацию во время выделения из микро-трещин тяжелого радиоактивного газа радона, который выделяется при распаде радиоактивных элементов: радия-226 и тория-232. Кроме этого происходит выделение излучения с поверхности камня, при электронном распаде калия – 40.

В общем фоне чуть завышенное значение имеет мраморный бордюр памятника Сивцеву Д.К., который соответствует 15 мкР/ч, так как мрамор – это метаморфическая порода, преобразованная из осадочных. Осадочные горные породы образуются в условиях переотложения продуктов выветривания или разрушения других горных пород, вследствие выпадения осадка из воды, а также в результате жизнедеятельности всех живых организмов на планете. Мрамор, как и другие метаморфизованные горные породы, не содержит радиоактивные изотопы по своему происхождению, а значит, полностью безопасен. Но имеют способность абсорбировать радиоактивные элементы, растворенные в воде.

На площади Дружбы народов жители города проводят время с детьми: катаются на велосипедах, самокатах и роликах. Так как 25 мкР/ч это предельное значение нормы, рекомендуем населению долго не находиться на лестничной площадке театра, для сокращения времени воздействия излучения.

Литература

1. Нормы радиационной безопасности. НРБ – 99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПИН. 2.6.1.2523 – 09. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902170553> (дата обращения: 1.02.2022).
2. Гусев Н.Г., Климанов В.А., Машкевич В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений. Физические основы защиты от излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 510 с.
3. Запорожец В.М. Разведочная ядерная геофизика: Справочник геофизика. – М.: Недра, 1977. – 296 с.

References

1. Normy radiacionnoj bezopasnosti. NRB – 99/2009. Sanitarnye pravila i normativy SanPIN. 2.6.1.2523 – 09. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://docs.cntd.ru/document/902170553> (data obrashhenija: 1.02.2022).
2. Gusev N.G., Klimanov V.A., Mashkevich V.P., Suvorov A.P. Zashhita ot ionizirujushhih izluchenij. Fizicheskie osnovy zashhity ot izluchenij. – M.: Jenergoatomizdat, 1989. – 510 s.
3. Zaporozhec V.M. Razvedochnaja jadernaja geofizika: Spravochnik geofizika. – M.: Nedra, 1977. – 296 s.