

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
«Российский государственный геологоразведочный университет»

Некоммерческая организация «Ассоциация московских вузов»

ВАСИЛЬЕВ И.Д., НОВИКОВ К.В.
ОСНОВЫ РАДИОМЕПРИИ
(учебное пособие для юных геологов)



Москва, 2011

УДК 553.495

Васильев И.Д., Новиков К.В. Основы радиометрии. Учебное пособие для юных геологов. М.: изд-во РГГРУ. 2009. 37 с.

Рецензент: профессор РГГРУ Медведев А.А.

В пособии освещены основные положения радиометрии, радиационной безопасности. Рассмотрены теоретические основы радиометрических исследований и определено место радиометрии в комплексе геофизических дисциплин.

Описаны источники ионизирующего излучения, изложены теоретические основы расчета доз внутреннего и внешнего облучения человека.

Описана методика проведения радиометрических исследований, рассмотрены требования построения радиометрических схем и карт.

Рассмотрены правила участия в конкурсе «Радиометрия» на мероприятиях детско-юношеского геологического движения.

Для юных геологов и учащихся геологических учебных заведений.

© Российский государственный геологоразведочный университет

Оглавление

От авторов	4
1. Введение.....	5
2. Теоретические основы радиометрии.....	6
3. Место радиометрии в комплексе наук о Земле.....	11
4. Аппаратура.....	13
5. Геологические предпосылки гамма-съемки	17
6. Методика работ	21
7. Методика построения карт изолиний гамма-активности	25
8. Правила конкурса «Радиометрия» на слетах Школьного Факультета РГГРУ. Характерные ошибки участников	28
9. О безопасности радиометрии.....	31
Словарь терминов.....	32
Список сокращений	34
Литература	34

От авторов

Данное методическое пособие предназначено для школьников, обучающихся в кружках юных геологов и изучающих основы одного из методов радиометрии – гамма-съемки. В нём изложены теоретические основы метода, освещен вопрос физических основ и геологических предпосылок. В пособии разобраны методика съемки и построения карт изолиний гамма-активности, подробно рассказано об устройстве радиометра. В заключении приводятся правила конкурса по радиометрии и описаны характерные ошибки участников соревнования. Пособие так же может быть полезно для всех интересующихся и занимающихся гамма-съемкой.

Все приведенные ниже результаты измерений гамма-активности получены в процессе поездок и экспедиций авторами, являющимися руководителями кружков Школьного Факультета РГГРУ (МГРИ) и их юными коллегами.

Авторы выражают большую благодарность Вс.В. Аристову (РосГео), учащимся кружка ШФ-112 и лично Р.В. Красникову, А.М. Шмонову, А.В. Шмыгиной, А.И. Пасько. Так же своим соратникам, руководителям кружков ШФ РГГРУ А.В. Фатееву и А.А. Шпекторову.

Ваши отзывы, замечания и предложения вы можете направлять в учебно-методический отдел Школьного Факультета РГГРУ по адресу shf.metod@gmail.com.

1. Введение

Геофизика – комплекс наук, исследующих физическими методами строение нашей планеты. Она является одной из самых молодых и самых перспективных в цикле наук о Земле. В настоящее время Геофизика – основной источник знаний о внутреннем строении нашей планеты, так как лишь она позволяет вести глубинные исследования её недр. Например, открытые горные выработки (карьеры, шурфы, канавы и т. д.), дают лишь поверхностное представление о геологическом строении местности, имея глубину до 500 метров. Шахты имеют гораздо большую глубину. Так самая глубокая шахта была недавно введена в эксплуатацию в ЮАР, она спускается вниз почти на три тысячи метров! Обычно глубина скважин не превышает первые сотни метров, а самая глубокая (Кольская сверхглубокая) – достигает более 12-ти тысяч метров. И при всем этом данные, полученные при подобных исследованиях, не дают должных знаний о внутреннем строении Земли. Только Геофизика позволила человеку заглянуть в недра третьей планеты от Солнца.

Геофизика включает в себя комплекс методов: сейсмометрический, магнитометрический, гравиметрический, электрометрический, геотермический, ядерно-геофизический и многие другие. Геофизические методы широко используются при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых.

Одним из важнейших направлений в ядерной геофизике является радиометрия. В. И. Вернадский дал первое научное определение целей и задач этой науки: «Радиогеология изучает ход радиоактивных процессов в нашей планете, их отражение и их проявление в геологических явлениях» [1]. В настоящее время эта область необыкновенно важна, так как в связи с научно-техническим прогрессом главенствующую роль приобретает радиоактивное сырье, поиском и разведкой которого и занимается радиометрия. Потребление радиоактивного сырья с каждым годом возрастает, оно идет на нужды военно-промышленного комплекса, используется как топливо для атомных электростанций, употребляется в сфере науки. Однако в последнее время в нашей стране становится актуальной проблема дефицита радиоактивного сырья, основным видом которого, на сегодняшний день, является уран.

2. Теоретические основы радиометрии

Из многих геофизических методов, наиболее доступным для юных геологов является радиометрия, точнее одна из ее разновидностей – пешеходная гамма-съемка. Это связано с относительно невысокой стоимостью аппаратуры, простотой измерения и интерпретации.

Радиометрия – это комплекс методов ядерной геофизики, основанный на измерении естественной радиоактивности горных пород и минералов. В основе радиометрии лежит явление радиоактивности – способности ядер некоторых атомных элементов самопроизвольно переходить в более устойчивое энергетическое состояние и превращаться в ядра других химических элементов с испусканием альфа (α), бета (β) и гамма (γ) частиц [2].

Явление радиоактивности было открыто в 1896 году Анри Беккерелем, обнаружившим испускание солями урана (U) каких-то неизвестных лучей. Он установил это случайно, оставив фотопластинку в ящике стола с урановой солью. Когда же пластинка была проявлена, оказалось, что на ней остались темные пятна. Вскоре Беккерель установил, что и минералы, содержащие уран дают тот же эффект. Несколько позже английский физик Эрнест Резерфорд пришел к выводу, что эти лучи имеют сложный состав и содержат, по крайней мере, два компонента, отличающихся проникающей способностью. Излучение с меньшей проникающей способностью он назвал α -лучами, а с большей – β -лучами. А в 1900 году французский физик П. Виллар открыл третий компонент радиоактивного излучения, имеющий наибольшую проникающую способность, – γ -лучи. Все эти виды лучей составляют радиоактивное излучение, которое является следствием радиоактивности [4].

α -излучение представляет собой поток ядер атомов гелия (He), проникающая способность которых очень мала. Они не могут «пробить» даже обычный листок бумаги. β -излучение обладает большей проникающей способностью и представляет собой поток электронов. γ -излучение (γ -кванты) – это высокоэнергетическое электромагнитное излучение. Для них характерна наибольшая проникающая способность (сотни метров в воздухе и до метра в горных породах). Именно поэтому на практике чаще всего регистрируют именно их.

Естественной радиоактивностью обладают элементы с порядковым номером в таблице Менделеева равным или превышающим 92, то есть, начиная с урана (U), а так же различные радиоактивные изотопы (разновидности атомов одного химического элемента с разным количеством нейтронов в ядре). При переходе в другие элементы наблюдается α -излучение, β -излучение, γ -излучение, то есть явление радиоактивного распада [7].

Самыми долгоживущими радиоактивными элементами являются уран-238 (U-238), торий-232 (Th-232) и изотоп калия (K-40). Их период по-

лураспада $T_{1/2}$, то есть время за которое распадется половина первоначального количества атомов, составляет 4.5×10^9 , 1.39×10^{10} и 1.4×10^{10} лет соответственно. В итоге, они превращаются в нерадиоактивные элементы – свинец, гелий, стронций, аргон. Например, уран-238 (U-238) переходит в свинец-206 (Pb-206).

Э. Резерфорд и П. Кюри высказывали предположение, что радиоактивный распад можно использовать как эталон времени, так как он характеризуется постоянной скоростью. Это свойство В. И. Вернадский и А. Холмс использовали при определении возраста пород и минералов. Оно же легло в основу абсолютной геохронологии – изучения возраста горных пород [7]. Для определения возраста породы проводят химический анализ, устанавливая количество элемента, образовавшегося в результате распада, а также оставшееся количество радиоактивного элемента. В зависимости от продуктов распада выделяют свинцовый, гелиевый, аргоновый, кальциевый, углеродный и прочие методы абсолютной геохронологии. Данные радиоактивного анализа позволяют определить возраст самых разнообразных горных пород.

Немаловажным вопросом являются проблемы количественной оценки радиоактивного излучения. В физике для этого используют величину Беккерель, названую по имени французского физика Анри Беккереля. Обозначается Бк. 1 Бк равен активности атома в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит 1 распад, т. е. $1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$.

Однако для количественной оценки содержания радиоактивных элементов в породах и минералах проводят измерения дозы или мощности дозы радиоактивного излучения. *Доза радиоактивного излучения* – это энергия, которую передает ионизирующее излучение веществу, а *мощность дозы* – это доза, полученная в единицу времени, т.е. чем больше мощность дозы, тем быстрее растет и полученная доза излучения. Выделяют несколько основных видов дозы радиоактивного излучения: экспозиционная, поглощенная, эквивалентная и эффективная. Остановимся на экспозиционной дозе и мощности дозы излучения, так как именно они применяются в радиометрической практике.

Экспозиционная доза излучения (X, D_3) используется в качестве количественной меры рентгеновского и гамма-излучения, которая определяется зарядом вторичных частиц (dQ), образующихся в массе вещества (dm):

$$D_3 = dQ/dm$$

В СИ единица экспозиционной дозы – Кулон/килограмм (Кл/кг), внесистемная единица – Рентген (Р). *Рентген* – это экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения, при котором при котором в 1 см^3 сухого воздуха при $t=0^\circ\text{C}$ и давлении $p=760 \text{ мм рт. ст.}$ вторичное корпускулярное излучение образует ионы общим зарядом в одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака.

Соответственно *мощность экспозиционной дозы* P_3 (интенсивность γ -излучения) излучения будет равна отношению экспозиционной дозы ко времени: $P_3 = D/t$ [Р/ч].

Чаще всего для оценки радиоактивных свойств горных пород и минералов используется внесистемные единицы мощности экспозиционной дозы, а именно рентген/час (Р/ч) или чаще меньшая величина микро-рентген/час (мкР/ч). $1 \text{ Р/ч} = 1 \times 10^6 \text{ мкР/ч}$. Далее наряду с термином *мощность экспозиционной дозы* будем применять термины *интенсивность гамма-излучения* (γ -излучения), или просто мощность дозы.

Все горные породы и минералы обладают радиоактивностью, это было установлено ещё В.И. Вернадским. Из всех известных радиоактивных элементов в земной коре наиболее распространены уран, торий и калий, поэтому в радиометрии изучают именно их. Они встречаются в горных породах в рассеянном состоянии, в виде примесей, а также входят в состав различных минералов. Радиоактивность горных пород и руд тем выше, чем больше в них концентрация U, Th, K и определяется она, прежде всего, радиоактивностью породообразующих минералов.

Наибольшей радиоактивностью обладают магматические горные породы, в которых содержится до 95% всех радиоактивных элементов (табл. 1). Максимальную радиоактивность можно наблюдать над гранитными интрузиями, гидротермальными жилами, содержащими радиоактивные минералы.

В среди магматических пород, наибольшей радиоактивностью обладают кислые (гранит, диорит), а наименьшей – ультраосновные породы (дунит, перидотит, см. табл. 1). Так же наблюдается зависимость между радиоактивностью и возрастом этих пород. Максимальные значения радиоактивности будут характерны для молодых кислых разностей.

Для осадочных пород наибольшая концентрация U, Th, K характерна для глин благодаря их абсорбционным («впитывающим») свойствам. Высокое содержание радиоактивных элементов также наблюдается в породах с конкрециями фосфоритов. Наименьшие содержания радиоактивных элементов характерны для известняков и осадков выпаривания (галит, ангидрит, гипс).

Содержание радиоактивных элементов в почвах определяется радиоактивностью коренных пород и совокупностью последующих процессов почвообразования. Наибольшие концентрации U, Th, K соответствуют почвам, развитым на кислых магматических породах, глинах. Радиоактивность черноземных почв выше, чем лесных и подзолистых. По мере увеличения глинистой фракции в почвах возрастает и их радиоактивность.

Из минералов наибольшей радиоактивностью отличаются минералы урана (уранинит, настуран) и тория (торит, ураноторит). Основным источником природного урана является минерал уранинит (UO_2). Скрытокристаллические плотные разновидности называются настураном, а рыхлые и аморфные – урановой чернью [5].

Таблица 1 [7].

Среднее содержание урана (U), тория (Th) и калия (K) в природе.
(Выделены наиболее радиоактивные горные породы и элементы земной коры)

I. Горные породы	U,10⁻⁴%	Th,10⁻⁴%	K-40,%
1. Магматические:			
1.1 Граниты (Риолиты)	4-6	18-25	3,34
1.2 Диориты (Андезиты)	1,8	7	2,3
1.3 Габбро (Базальты)	0,6-0,7	1,8-4,3	0,83
1.4 Перидотиты (Пироксениты)	0,03	0,08	0,03
2. Осадочные:			
2.1 Известняки	1,2	2,5	0,4
2.2 Глины	3,5	7,0	2,3
2.3 Песчаники	2,1	9,0	2,1
2.4 Соли	0,1	0,4	0,1
II. Земная кора	2,3	8,0	2,4
1. Земная кора (Гранитный слой)	3,6	15,5	3,6
2. Земная кора (Базальтовый слой)	1,0	3,3	1,0
III. Почвы	2,1	6,0	1,4

Уранинит встречается в виде зернистых масс и натечных агрегатов, изредка образуются в отдельных кристаллах. Минерал имеет темно-зеленый, смоляно-черный цвет, цвет черты – черный, а твердость – 5–6, блеск – полуметаллический, плотность – 10,3–10,6. Главным диагностическим признаком минерала является сильная радиоактивность. Уранинит встречается в пегматитовых жилах (гранитовых и сиенитовых), где наблюдается вместе с цирконом, полевыми шпатами, слюдой и турмалином. В рудных жилах и гидротермальных месторождениях он встречается в ассоциациях с серебро-кобальтовыми и серно-мышьяковыми минералами, а также галенитом, баритом и касситеритом [6].

Низкая радиоактивность характерна для кварца, кальцита, гипса, ангидрита, угля, а так же для каменных солей, что является важным поисковым признаком для данного вида сырья. Средними значениями радиоактивности отличаются магнетит, лимонит, сульфиды и многие другие минералы.

Следует отметить, что радиоактивные элементы встречаются не только в горных породах и минералах, но также в воздухе, воде и растениях. В человеке весом 70 килограмм содержится 0,002 грамм урана.

Один из главных принципов радиометрии можно сформулировать так: **интенсивность регистрируемого гамма-излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника излучения (Рис.1).**

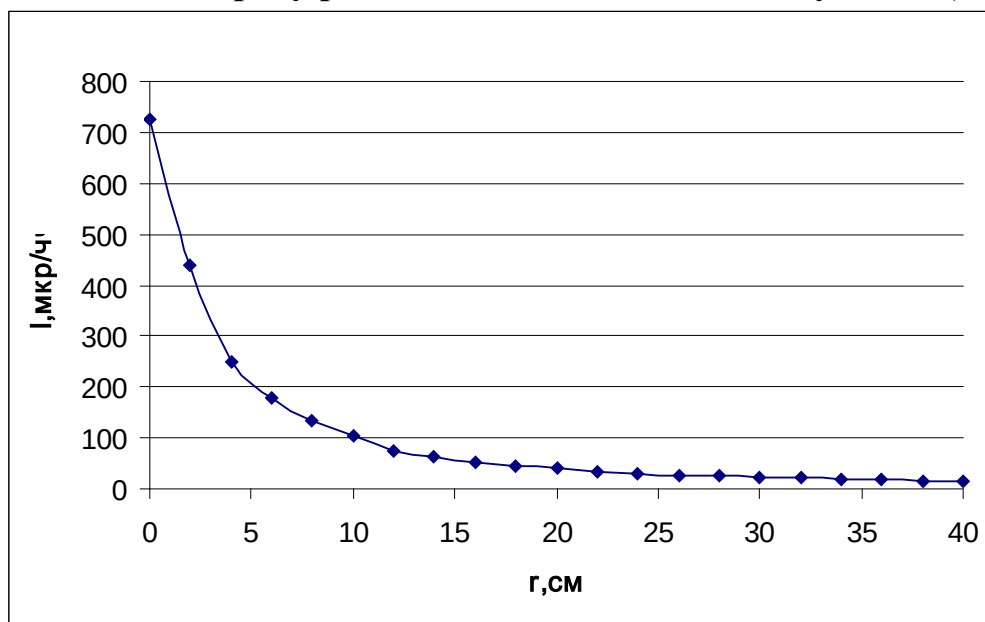


Рис. 1. Зависимость интенсивности гамма-излучения от расстояния до источника.

3. Место радиометрии в комплексе наук о Земле

Радиометрия включает в себя методы поисков и разведки, радиоактивных руд по их естественной радиоактивности (непосредственно, радиометрия), которая, объясняется распадом радиоактивных элементов, находящихся в горных породах, рудах, воде и газовых включениях. При помощи радиометрии можно решать ряд важнейших геологических задач, таких как поиски радиоактивных руд и руд генетически связанных с радиоактивными элементами, геологическое картирование, выделение разрывных нарушений, определение геологических границ, районирование.

Радиометрия, включает ряд методов: гамма-съемку, непосредственно интересующую нас; эманационную съемку (эманирование – процесс выделения в окружающую среду твердыми веществами, содержащими радий (Rn), радиоактивных газов – радон, торон, актинон); а также методы опробования, предназначенные для оценки концентрации радиоактивных элементов в обнажениях и горных выработках. Широкое развитие методы получили в связи с необходимостью поиска урановых руд. Создан он была в начале 20 годов XX века. Возможность применения радиометрии обусловлена, с одной стороны, разной радиоактивностью горных пород, а с другой стороны, миграцией элементов и продуктов распада при помощи подземных вод или почвенного воздуха.

Радиометрические методы применяют для поиска и разведки месторождений, как радиоактивных полезных ископаемых, так и нерадиоактивных, парагенетически или пространственно связанных с первыми. Например, к месторождениям редкоземельных элементов, боксита, олова, бериллия приурочено повышенное содержание тория. Повышенная концентрация урана может косвенно указывать на наличие месторождений вольфрама, молибдена, а калия – на некоторые полиметаллические месторождения. Гамма-каротаж (съемка в скважине) совместно с другими методами ядерной геофизики, применяют для выделения продуктивных нефте- и газонасыщенных пластов, обладающих пониженной радиоактивностью. Используют гамма-съемку и для решения задач геологического картирования. Вследствие различной естественной радиоактивности, а также поглощающей и эманлирующей способности горных пород их можно расчленять по литологическому составу, степени разрушенности (облегчающей миграцию радиоактивных элементов), глинистости (затрудняющей миграцию), а также выявлять тектонические нарушения [8].

В почвенном воздухе, в верхней рыхлой части осадочного слоя, всегда содержатся газообразные продукты распада радиоактивных веществ. Это газы торон (Tn), актинон (An), радон (Rn), являющиеся изотопами радиоактивного элемента радия (Ra), образующегося при распаде урана (U). Накапливаясь в породах, трещинах и порах, газы, вследствие диффузии и своих физических свойств, хорошо распространяются от эманлирующего объекта, являющегося их источником, в направлении убыва-

ния концентрации, т.е. все дальше от объекта. Поэтому эманационный метод является наиболее глубинным из всех радиометрических (до 10 метров). Часть эманации (радиоактивных газов) выделяется в воздух. Понятно, что концентрация газов будет зависеть от количества радиоактивных элементов, содержащихся в породе. Но так же она будет определяться плотностью и пористостью породы, её влажностью и температурой [5].

Таким образом, в местах с повышенным содержанием радиоактивных газов можно обнаружить радиоактивные аномалии. Эманационный метод широко применяется при картировании разрывных нарушений, которые часто оказываются скрытыми под толщей осадочных пород. Разломы являются ослабленными зонами, где целостность горных пород оказывается нарушена. Именно эти зоны дробления и трещины обладают повышенной способностью пропускать радиоактивные газы, образующиеся в глубинах Земли. Отсюда следует, что в местах разрывных нарушений могут фиксироваться радиоактивные аномалии.

Широкое распространение получил и другой радиометрический метод – гамма-спектрометрия, задачей которого является раздельное определение концентраций U, Th и K в породах и рудах. Это позволяет получить количественные критерии оценки радиометрических аномалий для последующего выделения перспективных площадей и локальных аномалий. Для горных пород характерно неравномерное распределение радиоактивных элементов не только в разных типах и возрастных группах, но и внутри одного класса и даже в пределах единого интрузивного тела или стратиграфического комплекса.

Значение аномалий зависят от размеров объектов, состава и строения покровных отложений, в связи с этим гамма-аномалии над урановыми рудными телами в определенных геологических условиях могут быть равным или даже меньше по интенсивности гамма-аномалий, обусловленных повышенным содержанием U, Th и K в горных породах. Поэтому при поисках месторождений урана для определения природы аномалий большое значение имеет раздельное определение этих элементов с помощью гамма-спектрометрии. Раздельное определение U, Th и K основано на различии величин энергии испускаемого ими гамма-излучения.

Существуют различные модификации гамма-методов. Самым широко распространенным методом радиометрии является пешеходная гамма-съемка.

При гамма-съемке, как следует из названия метода, регистрируют гамма-излучение, обладающее наибольшей проникающей способностью. Но, несмотря на это, глубинность метода очень невелика – около одного метра. Надо отметить, что фиксируемое гамма-излучение является суммарным от U, Th, K.

4. Аппаратура

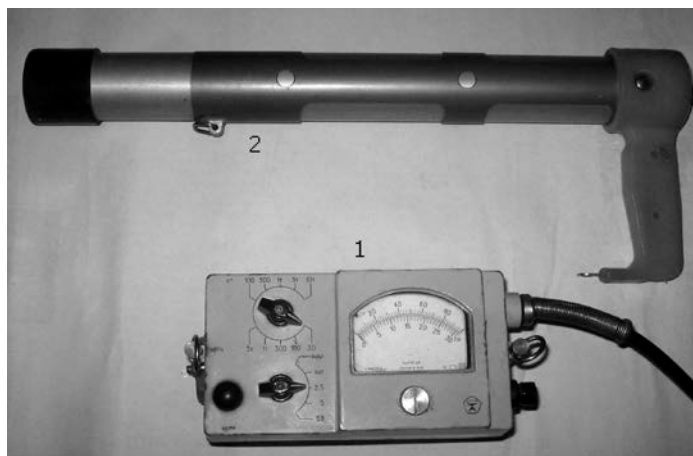


Рис.2 Общий вид радиометра СРП-68-01.
1 – измерительный пульт, 2 – Блок детектирования

При поисках полезных ископаемых, картировании, геоэкологических работах для регистрации гамма-излучения используют специальные приборы – **радиометры** (рис.2), состоящие, как правило, из 2 двух блоков: блока детектирования (рис.3) и измерительного пульта (рис.4) соединенных кабелем. Одним из самых распространенных в геологоразведочной отрасли является СРП-68-01 . Цифра «01» означает, что прибор предназначен для пешеходной гамма-съемки. Существуют также СРП-68-02, применяемый для гамма-каротажа скважин, СРП-68-03 используемый для шпуровой гамма-съемки. СРП-68 отличаются высокой надежностью и простотой применения. Также применяются приборы СРП-88, имеющие меньший вес, размер и оснащенные цифровым экраном, с которого снимаются значения, полученные в результате измерения. СРП-88 имеет больший диапазон измерений. Но СРП-88 (Рис.5) менее надежен, чем свой предшественник (СРП-68-01) [4].

Последними модификациями прибора являются СРП-97 и СРП-98. Однако принципы работы у всех поисковых радиометров одинаковы.

Первичная регистрация гамма-излучения происходит с помощью прибора, который называется детектором. Детектор – прибор, преобразующий энергию радиоактивного излучения в сигнал удобный для измерения и обработки. Принцип работы радиометра базируется на преобразовании гамма-излучения в электрические сигналы с дальнейшим измерением их параметров. Роль преобразователя выполняет сцинтилляционный детектор, выполненный из кристалла иодида натрия активированного таллием – NaI(Tl), преобразующий гамма-излучение в световые импульсы и фотоэлектронный умножитель, преобразующий световые сигналы в электрические. Эти кристаллы обладают уникальным физическим свойством – под

Сигналы, снимаемые с фотоэлектронного умножителя, после усиления фильтруются от помех и преобразуются в последовательность импульсов, средняя частота повторения которых пропорциональна измеряемой физической величине. Данная последовательность поступает на измеритель, показания которого выводятся на стрелочный прибор, его шкала отградуирована в единицах потока и мощности экспозиционной дозы γ -излучения.

На выходе получается сигнал, определяющий количество импульсов в единицу времени (с^{-1}). Но на практике используется другая величина, приблизительно отражающая получившееся соотношение – микрорентген/час (мкР/ч). 1 микрорентген = 1×10^{-6} рентген. Напомним, что рентген – это единица экспозиционной дозы гамма-излучений, определяемая по их ионизирующему действию на воздух. Она названа в честь первого нобелевского лауреата по физике Вильгельма Рентгена.

СРП-68-01 достаточно прост в обращении. Со стрелочного индикатора (1) снимаются значения, полученные в процессе работы. На нем имеются 2 шкалы – кратная трем (нижняя) и десяти (верхняя). В зависимости от интенсивности гамма-излучения используются различные диапазоны измерения, изменяемые переключателем (2), а соответственно и шкалы: («30») от 1 до 30 мкР/ч (значения снимаются с нижней шкалы), («100») 1-100 мкР/ч (верхняя шкала), («300») 1-300 мкР/ч, («1000») 1-1000 мкР/ч, («3000») 1-3000 мкР/ч (максимальное значение, которое способен зафиксировать СРП-68). Для каждого диапазона измерения цена деления шкалы своя. Переключатель (4) предназначен для изменения режимов работы и проверки работоспособности прибора. В положение «ВЫКЛ» прибор отключен. «БАТ» – показывает заряд батарей.

При полном заряде стрелка индикатора находится в крайнем правом положении. (Питание радиометра осуществляется от девяти элементов типа 343, или LR14). Комплект питания обеспечивает непрерывную работу прибора без недопустимых отклонений показателей на протяжении 120 ч [9].

Основной рабочий режим радиометра находится в положении переключателя «2,5». Значение «2,5» – это время необходимое для снятия измерения, оно достаточно мало, поэтому точность отсчета, из-за постоянного колебания стрелки, невелика и составляет 1 мкР/ч. Наиболее точный результат можно получить, переведя переключатель в положение «5». Это связано с увеличением времени регистрации гамма-квантов. Режим работы «5», как правило, используется для более точного определения значений аномалий гамма-активности и их детализации. Цифры «2,5» и «5» означают время в течение, которого прибор суммирует регистрируемые импульсы.

При положении переключателя на «5В» и нажатой кнопки «КОНТР» (3) осуществляется проверка работоспособности фотоэлектронного умножителя. Стрелка должна находиться в средней части индикатора. В случае

её резкого отклонения в левую сторону прибор нуждается в ремонте и не пригоден для работы. Корректировочный винт (5) используется, если требуется установить стрелку индикатора на ноль. К радиометру можно подключить наушники через специальный вход (6) для звукового контроля измерений. В случае обнаружения аномалии сигнал станет более интенсивным и резким для слуха. Наушники удобно применять при длительных маршрутных наблюдениях.



Рис.5 Общий вид радиометра СРП-88 [10]

5. Геологические предпосылки гамма-съемки

Первичным объектом поисков месторождений урана является ореолы рассеяния рудных тел, которые, как правило, значительно больше размеров выходов рудных залежей и поэтому их легче обнаружить с поверхности. В настоящее время процесс поиска месторождений радиоактивных полезных ископаемых выглядит следующим образом. При помощи аэрогаммаспектрометрии, которая проводится с самолета или вертолета, выделяются площади с повышенными содержаниями U, Th, K и аномальными значениями интенсивности гамма-излучения. Затем эти перспективные аэроаномалии подтверждают при помощи наземной (пешеходной) гамма-съемки и других методов радиометрии. На различных стадиях поисков применяются и другие виды геофизической съемки, кроме того, для выявления ореолов рассеяния радиоактивных элементов широко используется геохимия. Обнаруженные и локализованные радиоактивные аномалии заверяют бурением. Результатом радиометрических работ является построение карт изолиний гамма-активности (см. ниже), графиков интенсивности и карт-графиков гамма-поля.

Вероятность обнаружения радиоактивного объекта зависит от значения нормального фона и пределов его колебания. Величина **нормального фона** определяется интенсивностью излучения пород, перекрывающих аномальное тело и значением натурального фона прибора (космическое излучение и загрязнение прибора радиоактивными элементами). Натуральный фон учитывается только при геологическом картировании, когда необходимо получить истинное значение интенсивности излучения горных пород. Колебания нормального фона объясняются изменениями содержания радиоактивных элементов в породах. При гамма-съемке важно правильно учесть и оценить **минимальное аномальное значение** радиоактивности – нижний предел выделяемой аномалии. Проще говоря, величину излучения, которая позволяет дать ответ на вопрос: есть ли аномалия или нет. Если в какой-либо точке профиля (полигона) показания прибора превышают минимальное аномальное значение, вас можно поздравить – обнаружена аномалия. На практике считается, что аномалия – это величина, превышающая значения нормального фона в 3 раза и уверенно выделяемая не менее чем в 3 точках на профиле. В радиометрии же, в связи со стратегическим значением уранового сырья, аномалии подлежали и подлежат заверке и изучению, если обнаружены хотя бы в одной точке. Всегда лучше обнаружить ложную аномалию, нежели её пропустить! В пределах площади распространения пород одного или схожего петрографического состава значение нормального фона изменяются незначительно. Нижний предел гамма-аномалии (I_a) возможно оценить и определить математически по величине нормального фона ($I_{нф}$) с учетом колебания (флуктуации) данного значения ($\sigma_{нф}$):

$$I_a = I_{нф} + 3\sigma_{нф} \quad [\text{мкР/ч}],$$

Для определения нормального значения гамма-поля в пределах **распространения пород одного типа** необходимо произвести измерения не менее чем в 30 точках на достаточно представительной площади, прилегающей к изучаемому участку, где заведомо известно, что аномалия отсутствует. За значение интенсивности, соответствующее нормальному фону, принимают среднее арифметическое из полученных результатов:

$$I_{\text{нф}} = \sum I_{\text{нф}i} / N \text{ [мкР/ч]},$$

Где $\sum I_{\text{нф}i}$ – сумма всех значений нормального фона, а N – число точек измерения. Флюктуация нормального фона рассчитывается по формуле, и является ничем иным как среднеквадратическим отклонением:

$$\sigma_{\text{нф}} = \sqrt{\frac{\sum (I_{\text{нф}i} - I_{\text{нф}})^2}{N - 1}} \text{ [мкР/ч]},$$

Где $I_{\text{нф}i}$ – 1,2,3... i -ое значение нормального фона, измеренного в i -ой точке участка, $I_{\text{нф}}$ – среднее значение нормального фона (см. выше), N – число точек измерения. Пример расчета минимального аномального значения I_a будет приведен ниже.

Нормальный фон пород колеблется обычно от единиц до 20 мкР/ч, редко достигая 50 мкР/ч. Самые низкие значения для осадочных горных пород фиксируются над болотными отложениями (до 5 мкР/ч), каменными солями (до 3 мкР/ч), карбонатными образованиями (до 10 мкР/ч). Наибольшие значения характерны для глин и некоторых типов сланцев – до 20 мкР/ч. Низкими значениями среди магматических пород отличаются ультраосновные и основные породы, а повышенными гранитоиды и пегматиты (до 50 мкР/ч).

Наглядным примером различия радиоактивности магматических и осадочных пород является график интенсивности гамма-излучения, полученный учащимися Школьного Факультета на Северном Кавказе близ Белореченского месторождения, генетически приуроченного к Даховской горст-антиклинали (Рис. 6). Крылья структуры сложены терригенными образованиями юрского периода, а ядро палеозойскими гранитами. Над ними и наблюдаются максимальные значения гамма-активности. При этом правое крыло аномалии более пологое, что может указывать, соответственно, и на более пологую границу раздела двух комплексов. В районе 5 километра от начала профиля наблюдается слабоамплитудная аномалия гамма-активности. Она, вероятно, связана с небольшим апофизом гранитного состава, перекрытым маломощным слоем осадочных отложений (эта структура была вскрыта в результате буровых работ при поисках месторождения радиоактивных полезных ископаемых).

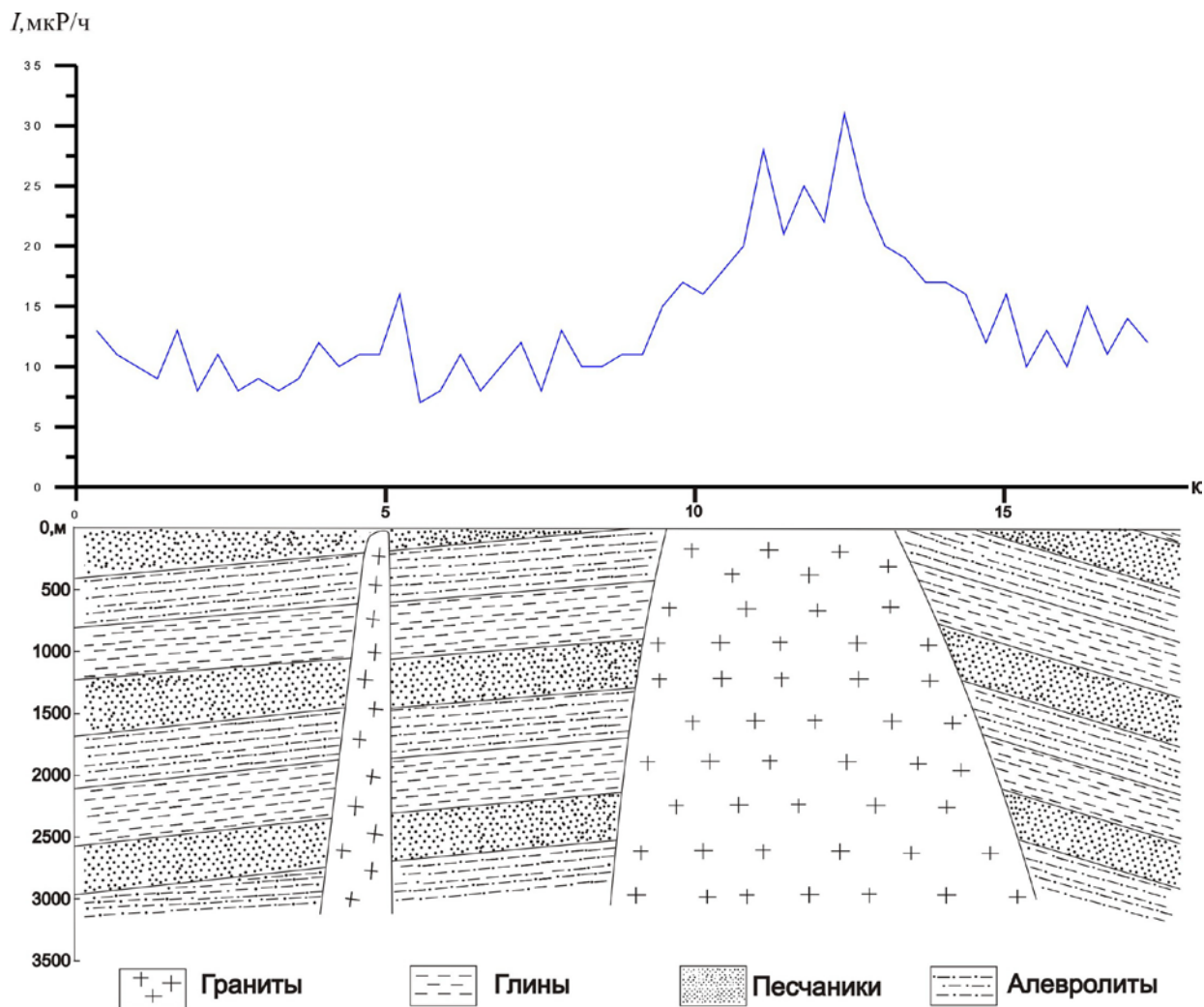
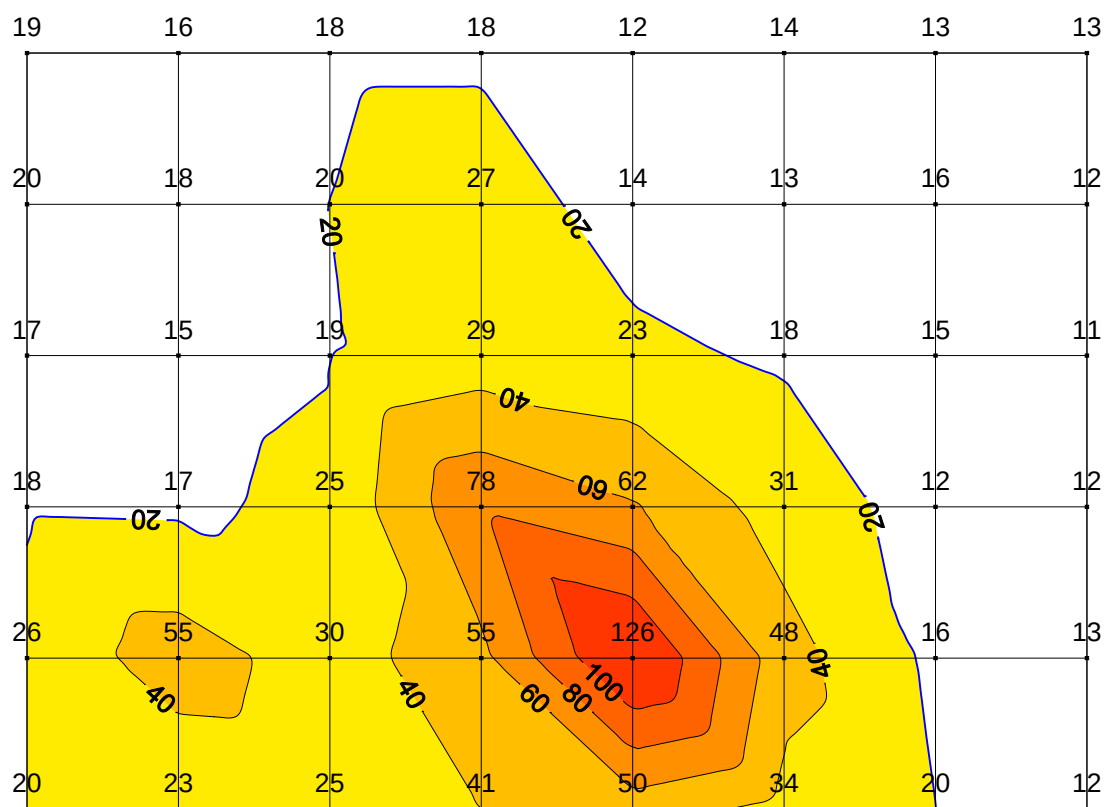


Рис.6 Схематический разрез Даховской горст-антиклинали (Северный Кавказ) и график интенсивности гамма-излучения над структурой.

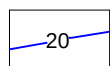
Непосредственно и само Белореченское месторождение, некогда разведывавшееся на уран, было выявлено в начале при помощи гамма-съемки (Рис. 7).

Карта изолиний гамма-активности центральной части
Белореченского месторождения (Северный Кавказ)
Масштаб 1:10 000

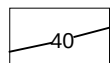
2004



Составители: Васильев И.Д.
Красников Р.В., Шмыгина А.В.



Изолиния минимального аномального значения активности гамма-излучения и её значение в мкР/ч



Изолинии активности гамма-излучения и их значения в мкР/ч

Рис.7 Карта изолиний гамма-активности центральной части
Белореченского месторождения.

6. Методика работ

В реальных полевых условиях любые радиометрические работы начинаются с эталонирования (градуирования) прибора, что необходимо для получения точного результата. Суть эталонировки сводится к получению графиков зависимости показаний прибора в условных единицах от интенсивности излучения точечного радиевого источника с известной массой, выражаемой в мкР/ч. Провести самостоятельно данную операцию сложно, так как для этого нужен эталонный источник Ra, который достать весьма непросто. Градуирование радиометра должно проводиться регулярно, во время длительных работ, не менее раза в месяц.

Перед началом маршрутных наблюдений и в процессе маршрута производятся измерения интенсивности гамма-излучения при помощи контрольного эталона, прикрепленного сбоку к корпусу радиометра. Если по данным контроля чувствительности получают, что значения радиоактивности эталона сильно колеблются, то необходимо проградуировать прибор или он не исправлен.

При отсутствии возможности градуировки прибора (всегда после длительного простоя радиометра) необходимо проводить замеры с помощью контрольного эталона, который поставляется в комплекте с прибором, что бы избежать ошибок и быть уверенным в его работоспособности прибора. Эталон радиометра состоит из изотопа Co_{40} и имеет мощность экспозиционной дозы 60 мкР/ч.

Работа с прибором начинается с проверки заряда батарей и целостности сцинтилляционного детектора (см. выше). Близ начала профилей или в лагере, на участке распространения однотипных пород с относительно постоянным значением радиоактивности, устраивается контрольный пункт (КП), где перед началом и после окончания работ, проводятся контрольные измерения интенсивности гамма-излучения. Измерения на КП осуществляются исключительно для контроля корректности работы прибора и выявления изменений интенсивности гамма-излучения на площади работ. Кроме того, после окончания работ рекомендуется проверить прибор путем нажатия кнопки «КОНТР» (см. раздел «Аппаратура»).

В начале работ на новой площади определяют значения нормального гамма-поля $I_{\text{нф}}$, флуктуацию нормального поля $\sigma_{\text{нф}}$ и нижний предел аномальной гамма-активности I_a , мкР/ч (минимальное аномальное значение). Результаты заносятся в журнал.

Чем больше измерений проводится для определения радиоактивности горных пород, тем точнее определяется его значения. Стоит отметить, что на каждом пикете I_i можно проводить более чем одно измерение (как правило, три). При этом значение интенсивности гамма-излучения на каждом пикете (ПК) рассчитывается как среднее арифметическое всех трех измерений. Делается это для увеличения точности результатов съемки.

Измерения следует начинать при положении переключателя диапазонов «30». На каждом пикете и снятии отсчета необходимо установить радиометр в положение «2,5», трубку прибора, не прикладывая дополнительных усилий, чтобы ее не повредить, прижать к поверхности земли (стенки штольни, обнажению и т.д.). Примерно через 3–5 секунд, когда стрелка радиометра успокоится, можно записывать результат измерения.

Если стрелка зашкалит в крайнем правом положении, необходимо переключить диапазон измерений, а так же установить прибор в положение «5», что позволит более точно определить интенсивность аномалии (измерения в режиме «5» так же проводятся над слаборадиоактивными участками). Большинство радиометров позволяют более или менее точно измерять интенсивность гамма-излучения непосредственно в одной конкретной точке (к которой прижата трубка радиометра). Чем выше трубка прибора находится над пикетом, тем меньшее значение будет зафиксировано. Однако площадь эффективного действия радиометра, то есть поверхность, с которой происходит сбор сигнала, увеличится.

Таблица 2. Журнал радиометрических работ

Журнал радиометрических работ № _____ Дата: _____ Название участка: _____ Профиль №:/шаг съемки _____ Прибор: _____ Оператор: _____ Вычислитель: _____			
№ ПР	№ ПК	I_i , мкР/ч	Примечание
1	1	12	
1	2	16	Черные глины
1	3	9	
...	...	...	
10	30	10	
$I_{нф}$	=	11	
$I_{кп}=10$ мкР/ч – перед началом работ $I_{кп}=11$ мкР/ч – после окончания работ			

Важным моментом корректного выявления аномалий является их детализация. По сути это процесс, служащий для уточнения её формы и размеров. Для подробного оконтуривания эпицентра аномалии проводят дополнительные измерения.

Существуют различные способы детализации. Основные из них это «Площадная» и «Крестом».

При детализации «Крестом» через эпицентр аномалии проводится 2 перпендикулярных профиля, на линиях которого через равный шаг измеряются значения интенсивности гамма-излучения (рис.8). Данный способ позволяет существенно сэкономить время работ, однако им нельзя абсолютно правильно выявить форму аномалии, так как отсутствуют значения по диагонали от эпицентра.

Для более точного оконтуривания аномалии проводят площадную съемку по сети дополнительных профилей (рис.9). Это повышает точность работ, но значительно увеличит время измерений.

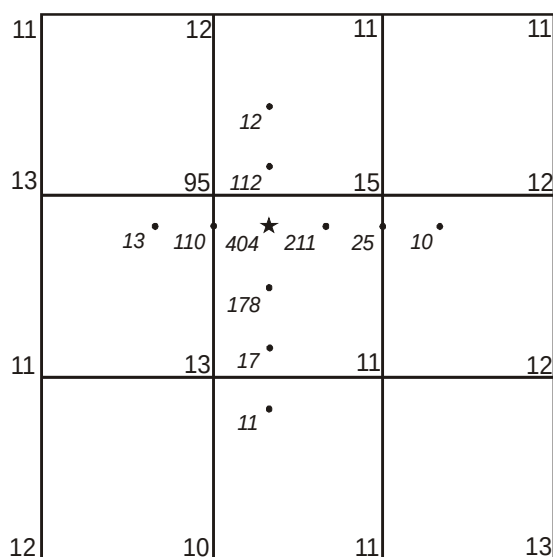


Рис. 8. Пример детализации аномалии «крестом»

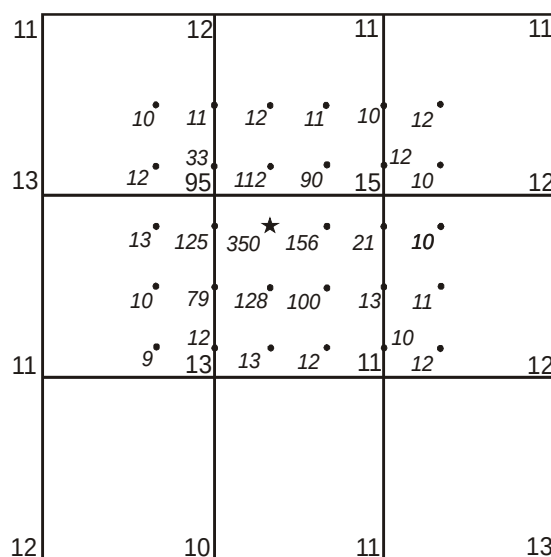


Рис.9. Пример площадной детализации аномалии

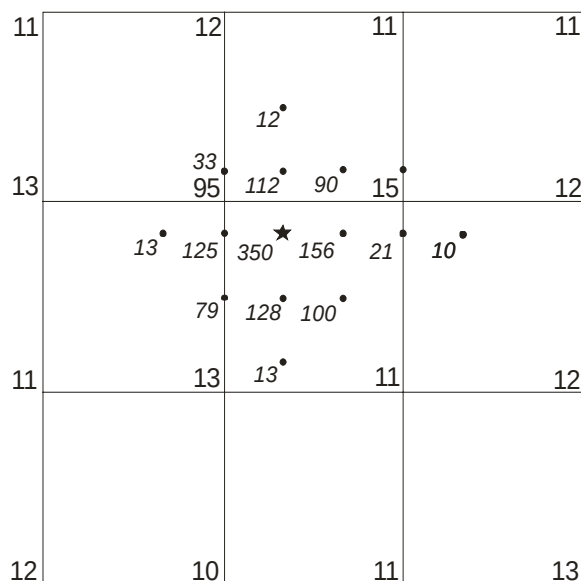


Рис.10. Пример детализации аномалии «крестом» с дополнительными измерениями по диагонали от эпицентра аномалии

В обоих случаях все замеры ведутся до выхода интенсивности гамма-излучения в фоновые значения. При детализации аномалий возможно использовать совмещенный вариант, когда к двум основным перпендикулярным профилям, проведенным через эпицентр, добавляется ряд дополнительных значений по диагонали от аномалии (рис.10).

Коротко требования к методике маршрутных радиометрических наблюдений юных геологов можно изложить следующим образом:

1. Перед началом работ проверить исправность прибора СРП-68-01 и заряд батареи путем вышеописанных операций с прибором.
2. Осуществить замер интенсивности γ -излучения на КП $I_{\text{нф}}$, мкР/ч. Результаты заносятся в журнал. Произвести, по возможности, не менее 30 измерений интенсивности γ -излучения на площади прилегающей к полигону (профилям). Определить значения нормального гамма-поля $I_{\text{нф}}$, флюктуацию нормального поля $\sigma_{\text{нф}}$ и нижний предел I_a , мкР/ч (минимальное аномальное значение). Результаты заносят в журнал.
3. Далее следует приступить к работе непосредственно на территории полигона, профиля. Задача съемки – выявить аномалии, построить карту изолиний интенсивности γ -излучения в выбранном вами масштабе. Для этого необходимо произвести измерение на каждом из пикетов.
4. В случае обнаружения аномальных значений гамма-излучения (то есть при показаниях радиометра превышающих или равных минимальному аномальному значению I_a , мкР/ч), проводятся детализационные работы. Масштаб съемки и сеть наблюдений выбираются по усмотрению оператора, в зависимости от ожидаемой величины аномалии и её площади. При этом измерения ведутся до выхода интенсивности гамма-излучения в фоновые значения.
5. По окончании гамма-съемки производится измерение интенсивности γ -излучения на КП $I_{\text{нф}}$, мкР/ч. Результаты заносят в журнал.

7. Методика построения карт изолиний гамма-активности

Работы на профилях полигонах ведутся согласно заданному масштабу съемки. В случае выделения аномалий проводятся детализационные работы, при этом «шаг» съемки определяется в зависимости от конкретных условий (размера аномалии и её интенсивность). Четкого положения о построении радиометрических карт и разрезов не существует, поэтому, как и где отстраивать аномальные участки (выносить их на отдельный план или нет) каждый волен решать сам. Если это небольшие по размеру аномалии, то отстраивать их удобно на той же карте, не забывая при этом вынести на неё точки детализации. По желанию такие участки можно выделить цветом или рамкой, которую следует проводить по контурам аномалии. Масштаб детализационных работ необходимо указать в отчете.

При выполнении гамма-съемки на какой-либо замкнутой площади, результатом работ будет являться карта изолиний. Графическое отображение полученных результатов следует начинать с построения **изолинии равной минимальному аномальному значению I_a , мкР/ч**, полученному и посчитанному ранее. Изолиния – это линия равных значений, какой-либо величины, в данном случае – интенсивности гамма-излучения. Она проводится путем интерполяции – вычисления промежуточного значения по известным соседним. Каждая из изолиний на плане отображает какое-либо значения гамма-активности, поэтому их необходимо оцифровывать, то есть вынести на карту их численное значение.

Для точного проведения изолиний следует вычислять промежуточные значения, между двумя известными. При экспресс-анализе опытные интерпретаторы делают это «на глаз». Однако для получения более точного результата операцию линейной интерполяции удобно проводить следующим образом. Для начала, в зависимости от полученных значений, вы выбираете значение изолинии, которую будите проводить. (Напомню, что первой проводится изолиния минимального аномального значения гамма-активности. Но её в данном конкретном случае мы отстраивать не будем). Предположим, что это изолиния «10» (Рис. 11). Существует 2 варианта, как она может пройти. Либо на север (наверх), либо на восток (направо). Так как величина «10» больше, чем «7» и «8», которые ограничивают северную часть квадрата, изолиния «10» не может идти наверх! А вот между «8» и «12» она проходит легко. Таким образом, перед началом интерполяции, необходимо приблизительно проследить путь вашей изолинии, который определяется величиной гамма-активности на пикетах, между которыми она пройдет. При этом значение в одной из точек должно быть всегда больше (меньше) значения изолинии, а в другой либо меньше (больше), либо равным. Необходимо помнить и о значениях на других соседних пикетах. К примеру, если за место значения «7» на 2 пикете крайнего левого профиля, стояло бы «11», то изогамма «10» не смогла бы идти на во-

сток. Так как пересекала бы по диагональную линию «11-12». Далее необходимо определить точку, через которую пойдет изолиния. Для этого можно воспользоваться следующей формулой:

$$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{L}$$

где K – интенсивность гамма-излучения в одной условной единице (в сантиметре, в миллиметре, в «1 клеточке»); $I_{\max}$ – максимальное значение гамма-излучения на одном из двух пикетов, между которыми проходит изолиния; $I_{\min}$ – минимальное значение гамма-излучения на одном из двух пикетов, между которыми проходит изолиния; L – расстояние между пикетами с известными значениями гамма-излучения (в выбранных условных единицах: сантиметрах, миллиметрах, «клеточках»).

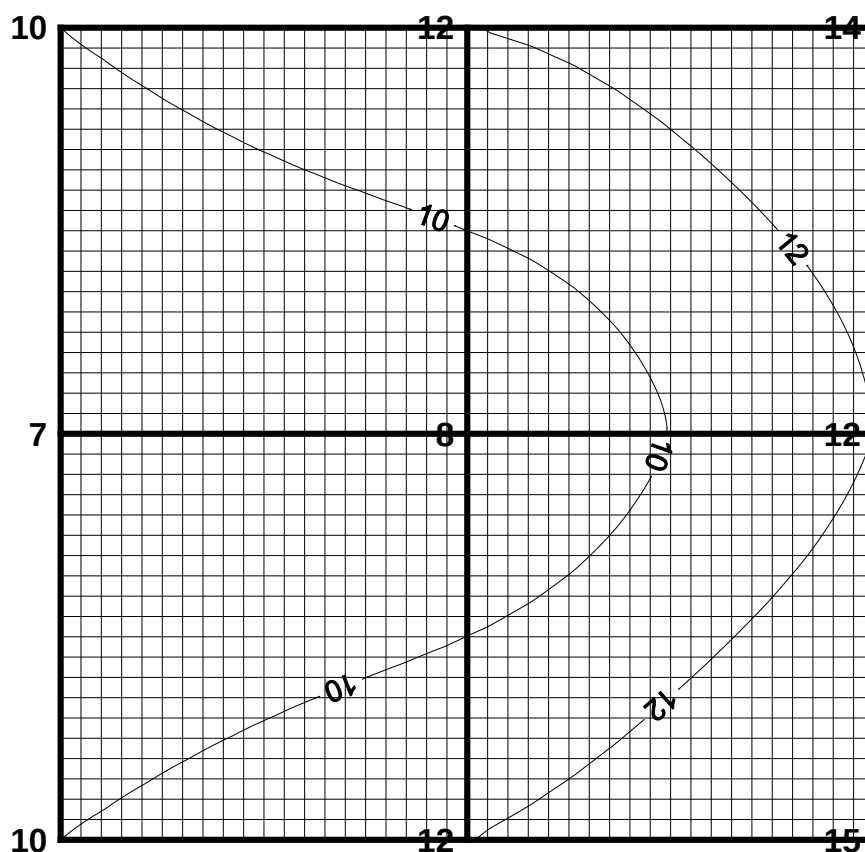


Рис. 11 Пример построения изолиний («10» и «12»)

За условную единицу длины в данном случае была принята клеточка.

$$K = \frac{12 \text{ мкР/ч} - 8 \text{ мкР/ч}}{20 \text{ клеточек}} = 0,2 \text{ мкР/ч в 1 клеточке}$$

Следовательно, при условии, что на одну клеточку полигона приходится 0,2 мкР/ч, а всего их 20 между ПК, изолиния «10» пройдет ровно посередине. Обычно проще (как, например, в данном случае) и необходимо определить интенсивность гамма-излучения посередине между пикетами:

$$C = \left(\frac{I_{\max} - I_{\min}}{2} \right) + I_{\min} \quad \text{или} \quad C = I_{\max} - \left(\frac{I_{\max} - I_{\min}}{2} \right),$$

где C – значение интенсивности гамма-излучения в центре между пикетами.

$$C = \left(\frac{12 \text{ мкР/ч} - 8 \text{ мкР/ч}}{2} \right) + 8 \text{ мкР/ч} = 10 \text{ мкР/ч}$$

$$C = 12 \text{ мкР/ч} - \left(\frac{12 \text{ мкР/ч} - 8 \text{ мкР/ч}}{2} \right) = 10 \text{ мкР/ч}$$

Для большей точности построения карты, так же следует вычислять положение точки, на диагональной линии между ближайшими пикетами (в данном случае это пикеты с интенсивностью 7 мкР/ч и 12 мкР/ч), через которую пойдет изолиния. Далее линия равных значений гамма-интенсивности отстраивается аналогично.

Изолинию не следует «бросать» посередине карты. Её надо либо замыкать или доводить до границы полигона. Если это не возможно, то проводить выбранную изогамму не следует. Всегда важно верно выбрать «шаг» изолиний, то есть тот интервал, через который вы будете их проводить. Как правило, он выбирается произвольно, в зависимости от конкретной интенсивности аномалии. Чем больше её значение, тем больше будет и «шаг» изолиний. «Шаг» изолиний можно оставлять, как и неизменным (постоянным, например через 25 мкР/ч), так и постепенно возрастающим: 25 мкР/ч – 60 мкР/ч – 100 мкР/ч – 200 мкР/ч-500 мкР/ч, **но не меньше минимального аномального значения I_a , мкР/ч**, который является нижним пределом обнаружения аномалии. Изолинии, значения которых меньше минимального аномального проводить не имеет смысла. Но только в том случае, если вы занимаетесь изучением аномалий. При других же видах работ, например геологосъемочных, изолинии отстраиваются по всей территории планшета.

Карта не должна быть «перегружена» изолиниями гамма-активности, их не должно быть слишком много. В то же время она должна давать наглядное представление о характере аномалий и радиоактивности вмещающих пород.

8. Правила конкурса «Радиометрия» на слетах Школьного Факультета РГГРУ. Характерные ошибки участников

1. Цель конкурса: выявление аномалий гамма-активности (не более 3-х) и построение карты изолиний;
2. Время, отведенное на конкурс – 1 час. При этом время работы на полигоне с прибором и с картой не регламентируется;
3. Количество участников в конкурсе – 2;
4. Максимальная оценка – 50 баллов;
5. С собой необходимо иметь: карандаш, лист формата А3, линейку, ластик, калькулятор;
6. Соревнования проводятся на площадке 3×3 метра, разбитой по ортогональной сети 1×1 метр. Размеры полигона могут быть изменены по усмотрению судейской коллегии в зависимости от мощности источников гамма-излучения;
7. Перед началом работ на полигоне участники должны показать умение обращаться с радиометром, знание теоретических (геологических, физических) основ метода;
8. Замеры интенсивности естественного радиационного излучения выполняются прибором СРП-68-01 или СРП-88 (в зависимости от их наличия). Право выбора прибора (в случае альтернативы) принадлежит участникам;
9. Карта должна быть оформлена в соответствии со всеми правилами: указано название, масштаб, «шаг» изолиний (если надо), год построения, фамилии выполнивших работу. Карта должна иметь условные обозначения, быть сориентированной по сторонам света (см. Приложение 1);
10. К карте должен быть приложен отчет о проделанной работе, где следует указать: цели работы, аппаратуру, значение $I_{\text{нф}}$, в мкР/ч на КП перед и по окончании гамма-съемки, I_a , в мкР/ч, количество выявленных аномалий, их интенсивность, форму, месторасположение. Следует описать методику работ (см. Приложение 2);
11. Значение нормального фона $I_{\text{нф}}$ и флуктуации $\sigma_{\text{нф}}$ известно по условиям конкурса (сообщается участникам перед выходом на полигон). Расчет величины аномальной гамма-активности I_a , в мкР/ч (минимального аномального значения) необходимо провести самостоятельно.
12. Организаторы конкурса по радиометрии оставляют за собой право отстранить команду от участия в соревновании в случае её не этичного и не культурного поведения. На конкурс не принимаются грязные, небрежно оформленные работы.
13. Результаты будут оцениваться по следующим параметрам:

- Знание теоретических основ радиометрии – 2,5 балла (5 вопросов по 0,5 балла). Тест содержит вопросы по общим разделам радиометрии и непосредственно гамма-съемки, по геологическим предпосылкам и физическим основам гамма-съемки, методике работ и способах обработки результатов измерений;
- Подготовка прибора к работе (проверка заряда батареи, работоспособности прибора), проведение контрольного замера гамма-активности поля на КП – 2 балл;
- Точность измерения гамма-активности на рядовых ПК и КП (допустимая погрешность до 10% усредненного значения). Максимальная оценка – 8 баллов (по 0,5 балла за каждый замер);
- Правильность определения интенсивности излучения на всех аномалиях. Максимально 4,5 балла (за каждую по 1,5 балла). Ошибка менее 10% от истинной величины – 1,5 балла; ошибка в пределах 10-20% – 1 балл; ошибка 20-30% – 0,5 балла; ошибка более 30% – 0 баллов;
- Правильность выноса на карту эпицентров всех аномалий. Максимальная оценка – 3 балла (по 1 баллу за каждую). При этом точность выноса эпицентра и соответственно оценка обуславливается масштабом отчетной карты. При масштабе карты 1:20: смещение менее 5 мм – 1 балл, от 5 до 10 мм 0,5 балла, более 10 мм – 0 баллов. В случае другого масштаба величина смещения определяется пропорционально изменению масштаба относительно вышеприведенных цифр. Масштаб отчетной карты сообщается участникам перед началом соревнования;
- Детализация аномалий. Максимальная оценка – 6 баллов (по 2 балла за каждую аномалию). Шаг съемки выбирается участниками самостоятельно. Измерения ведутся до выхода в фоновые значения. В случае выхода аномалии за площадь полигона, замеры берутся до его границы.
- Правильность расчета минимального аномального значения I_a , мкР/ч – 1 балл.
- Правильность построения изолинии равной минимальному аномальному значению I_a , мкР/ч – 4 балла;
- Правильность построения карты изолиний. Максимальная оценка – 9 баллов. Проведение каждой изогаммы должно быть обосновано и подтверждено рядовыми и дополнительными измерениями. Определенным баллом оценивается правильность проведения каждой изолинии (общий балл нормируется на число изолиний, то есть если на карте проведены 3 изогаммы, то каждая из них оценивается по 3 балла)

Минимальное количество изолиний для одной аномалии – 3 (не считая изолинию I_a). Они являются зачетными, то есть по ним проводится оценка правильности построения карты. Однако, в за-

висимости от интенсивности конкретной аномалии, количество зачетных изолиний может быть уменьшено. Дополнительные изолинии проводятся участниками по желанию и оцениваются отдельным балом в зависимости от их необходимости и обоснованности;

- Правильность выбора «шага» изолиний – 1,5 балл;
- Правильность оцифровки изогамм – 1,5 балл;
- Полнота отчета – 3 балла;
- Полнота построения карты (проведение дополнительных изолиний) – 1 балл;
- Правильность оформления, аккуратность – 3 балла;

14. Интерпретация полученных результатов по усмотрению участников.

15. К конкурсу приходите подготовленными, научитесь построению изолиний заранее!

Очень часто участники конкурса по радиометрии не понимают или просто не знают её физических основ. Многим, к сожалению, не известно, для чего она нужна, как применяется. Совсем мало или вовсе не уделяется времени в кружках юных геологов знакомству с различными геофизическими методами, без которых невозможен современный геологоразведочный процесс.

Характерной ошибкой при проведении конкурса являются арифметические оплошности, которые допускаются при различных расчетах, в том числе при подсчете минимального аномального значения интенсивности гамма-излучения и включая ошибки при интерполяции. Зачастую неточно производятся замеры интенсивности поля на рядовых пикетах, не верно определяют значения и положение аномалий.

Но хуже всего участники конкурса по радиометрии отстраивают изолинии, они плохо владеют приемами интерполяции, не понимают сути этой процедуры. Данному элементу подготовки необходимо уделять значительное время, для чего следует постоянно тренироваться в построении карт изолиний.

Оставляет желать лучшего качество и аккуратность оформления отчетного материала, аккуратность, которая иногда не выдерживает никакой критики.

Залогом успешного выступления в конкурсе «Радиометрия», как и в любом другом, является систематическая и постоянная подготовка к нему. И главное в этом – практика и опыт реальных маршрутных работ методом гамма-съемки.

9. О безопасности радиометрии

Радиоактивное излучение относится к опасным для человека факторам, поэтому радиационная безопасность является одной из важнейших задач. Подробно о радиационной безопасности написано в документе «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99). Самым главным при этом является вопрос о воздействии радиоактивного излучения на организм человека.

Значения интенсивности гамма-излучения, получаемые во время полевых работ юными геологами, как правило, невелики и определяются составом пород встречающихся в данной местности. Так для районов распространения осадочных горных пород (например, в центральной части России) **нормальное** значения радиоактивности составляет 10–15 мкР/ч. В крупных городах значение радиоактивности, как правило, несколько выше (15–25 мкР/ч), что связано с обилием облицовочного материала, который активно используется при строительстве города. Так, знаменитая гранитная набережная реки Невы, имеет интенсивность γ -излучения около 20–30 мкР/ч. Однако бояться этого не стоит, это не опасно. Смертельной разовой дозой для человека является значение *400–500 рентген*, что более чем в 100 000 раз больше дозы, которая обычно фиксируется во время работ.

И все же не следует забывать о технике безопасности, и если вы оказались близ мощных источников, то лучше покинуть данный участок или свести время работы в подобных местах к минимуму. Радиоактивные образцы минералов и горных пород разрешается хранить только в специальных контейнерах, желательны свинцовых. К радиоактивным образцам, как к объектам повышенной опасности, не должны допускаться посторонние лица. Необходимо систематически в местах хранения коллекций минералов проводить замеры гамма-излучения. Ведь иногда невзрачный внешне образец таит в себе смертельную опасность и в течение длительного времени, облучая человека гамма-лучами, что может привести к опасным заболеваниям и печальным последствиям.

Словарь терминов

Актинон (An) – один из изотопов радона – ^{219}Rn , радиоактивный газ,

Альфа-излучение – поток ядер альфа-частиц, которые представляют из себя ядра атомов гелия (альфа-распад)

Беккерель – единица (в СИ) радиоактивности. Названа по имени франц. физика Анри Беккереля (1852–1908), открывшего в 1896 г. явление радиоактивности. Обозначается Бк. 1 Бк равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит 1 акт распада, т. е. $1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$. Единица массовой активности нуклида – Бк/кг, поверхностной активности — Бк/м², пространственной (объемной) активности — Бк/м³, молярной активности (равна отношению активности нуклида к количеству вещества источника) — Бк/моль.

Бета-излучение – поток электронов, испускаемый при радиоактивном распаде (бета-распад)

Гамма-излучение – коротковолновое электромагнитное излучение, имеет ярко выраженные корпускулярные свойства, т.е. ведёт себя подобно потоку частиц – гамма-квантов.

Гамма-каротаж – гамма-съемка в скважине, с помощью специальных зондов.

Гамма-съемка – геофизический метод, занимающийся исследованием мощности экспозиционной дозы гамма-излучения.

Детектор – устройство, предназначенное для преобразования измеряемой величины в электрическое напряжение.

Изогамма – линия равных отметок мощности экспозиционной дозы гамма-излучения.

Изолиния – линия равных отметок

Изотоп (от греческого ισος — «равный», «одинаковый», и τόπος — «место») – разновидности атомов (и ядер) одного химического элемента с разным количеством нейтронов в ядре. Название связано с тем, что изотопы находятся в одном и том же месте (в одной клетке) таблицы Менделеева.

Интерполяция – определение неизвестной величины, находящейся между известными величинами на основе значений этих величин.

Калий – (Kalium) K, химический элемент 1 (Ia) группы Периодической системы, относится к щелочным элементам. Атомный номер 19, атомная масса 39,0983. Состоит из двух стабильных изотопов ^{39}K (93,259%) и ^{41}K (6,729%), а также радиоактивного изотопа ^{40}K с периодом полураспада $\sim 10^9$ лет.

Каротаж – геофизические исследования скважин.

Настуран и урановые смолки – это минералы группы оксидов, массивные, коллоидные агрегаты, содержащие переменные количества $(\text{UO}_3)^{2-}$, ThO_2 , TR_2O_3 и др., радиоактивен.

Радий (лат. Radium), Ra – радиоактивный химический элемент II группы

периодической системы Менделеева, атомный номер 88. Известны изотопы радия с массовыми числами 213, 215, 219—230.

Радиоактивность – свойство ядер некоторых элементов самопроизвольно переходить в более устойчивое энергетическое состояние с выделением элементарных частиц, что приводит к превращению элементов.

Радиометр – прибор, предназначенный для регистрации радиоактивного излучения.

Радон (лат. Radonum) Rn – радиоактивный химический элемент VIII группы периодической системы Менделеева; атомный номер 86, относится к инертным газам. Истинный радон имеет массовое число 222 (^{222}Rn). Радон имеет 3 радиоактивных изотопа.

Рентген – доза рентгеновского или гамма-излучения, при котором в 1 см^3 сухого воздуха при $t=0^\circ\text{C}$ и давлении $p=760\text{ мм рт. ст.}$ вторичное корпускулярное излучение образует ионы общим зарядом в одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака.

Сцинтилляция – кратковременная ($\sim 10^{-4}$ – 10^{-9} сек) световая вспышка, возникающая в сцинтилляторах под действием ионизирующих излучений.

Торий (Thorium), Th – химический элемент III группы периодической системы элементов, металл, относится к актиноидам, атомный номер 90, атомная масса 232,0381. Торий радиоактивен, стабильных изотопов не имеет.

Торон (Tn) – один из изотопов радона – ^{219}Rn , радиоактивный газ

Уран – U (Uranium) химический элемент III группы периодической системы элементов, металл, относится к актиноидам, атомный номер 92, атомная масса 238,029. Уран – очень тяжёлый, серебристо-белый глянцеватый металл. Радиоактивен, стабильных изотопов не имеет.

Уранинит – минерал группы оксидов UO_2 , радиоактивен.

Флюктуация – многократно изменяющееся значение величины, размах ее колебаний, для радиометрии – среднеквадратическое отклонение от фонового значения.

Эманиационная съемка – геофизический метод, основанный на измерении интенсивности гамма-излучения от радиоактивных газов, например, подпочвенного радона.

Эманация – (позднелат. emanatio - истечение) процесс выделения в окружающую среду твердыми веществами, содержащими радий (Ra), радиоактивных газов – радон, торон, актинон

Список сокращений

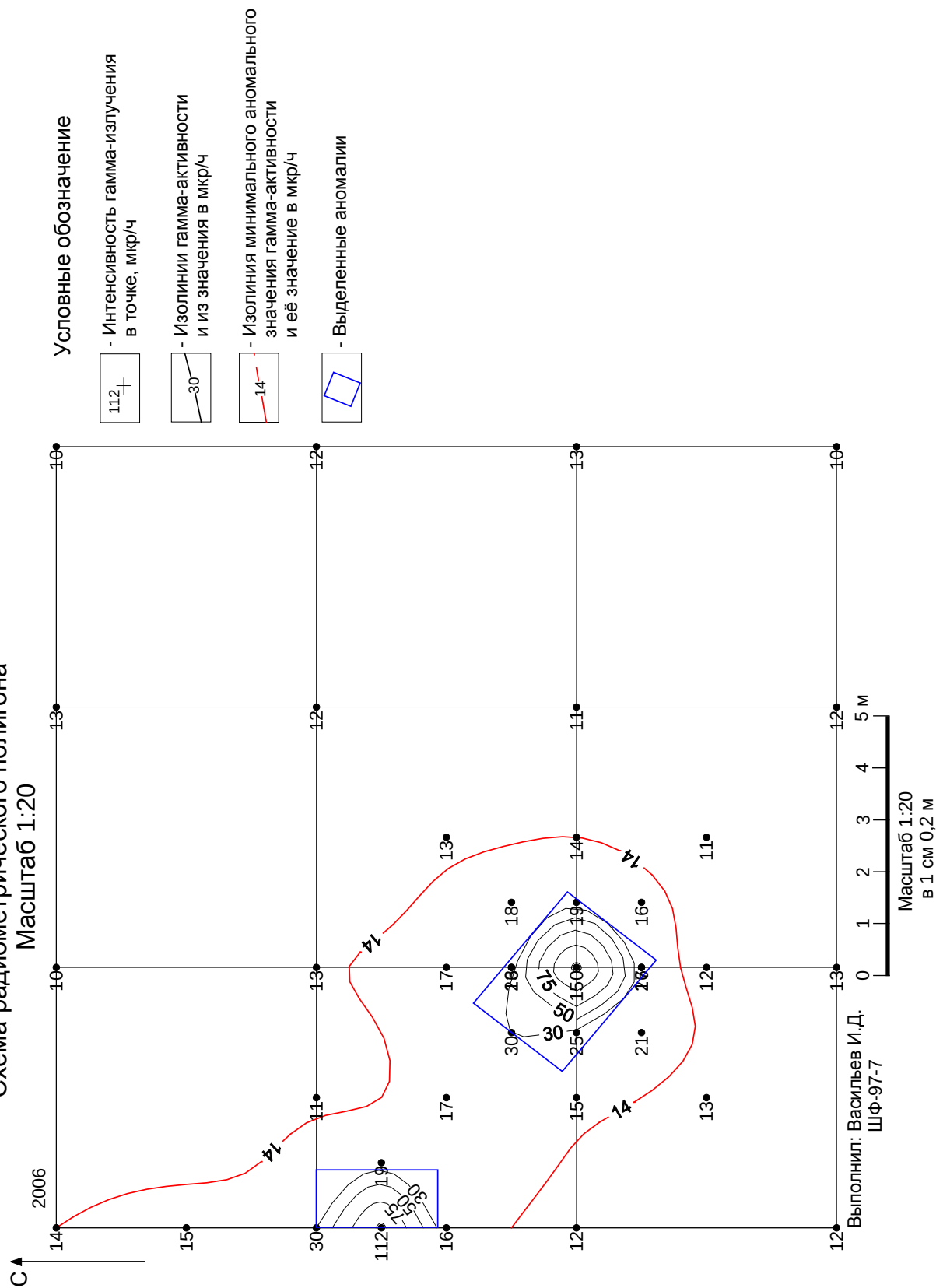
ВСЮГ	–	Всероссийский Слет юных геологов.
КП	–	Контрольный пункт.
ПК	–	Пикет.
ПР	–	Профиль.
СИ	–	Международная система единиц (SI, фр. <i>Système International d'Unités</i>).
СРП	–	Сцинтилляционный радиометр пешеходный.
ФЭУ	–	Фотоэлектронный умножитель.

Список литературы

1. Войткевич Г. В., Радиогеология и ее значение в познании земли, Москва, Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1956
2. Жданов Л.С., Маранджян В.А., Курс физики, Москва, Наука, 1971
3. Заяц А.П., Нагля В.В., Радиометрическая аппаратура и оборудование, Москва, Недра, 1983
4. Ларионов В.В., Ядерная геология и геофизика, Москва, Гостоптехиздат, 1963
5. Савенко Е.И. и др., Полевые радиометрические методы поисков урановых руд, МГРИ, 1978
6. Смолянинов Н.А., Практическое руководство по минералогии, Москва, Недра, 1972
7. Франтов Г.С., Глебовский Ю.С., Занимательная геофизика, Москва, Недра, 1987
8. Геофизические методы исследования под редакцией Хмелевского В.К., Москва, Недра, 1988
9. Техническое описание СРП-68
10. www.ntfprompribor.ru

Приложение №1

Схема радиометрического полигона
Масштаб 1:20



Отчет

Пешеходная гамма-съемка была проведена на «учебном полигоне ШФ РГГРУ» прибором СРП-68-01 № 112. Целью работ являлось выделение аномалий гамма-активности и построение карты изолиний.

Перед началом съемки на контрольном пункте было проведено измерение радиационного фона. Он составил 10 мкР/ч, а по окончании 11 мкР/ч. Нормальный фон района равен 11 мкР/ч. Флюктуация фона составила $\sigma_{\text{нф}}=0,77$ МкР/ч. Был подсчитан нижний предел аномальной гамма-активности, который составил 14 МкР/ч.

Съемка проводилась на полигоне размером 3×3 метра, разбитому по ортогональной сети 1×1 метр. Общее количество пикетов – 16.

Было выявлено 2 точечные аномалии гамма-излучения. Наиболее интенсивная обнаружена в центральной части площади, она составила 150 МкР/ч. Вторая найдена близ границы полигона, в его западной части. Её интенсивность 112 МкР/ч. Обе аномалии практически изометричны. На карте хорошо прослеживается, что аномальная зона имеет северо-западное простираение.

На рядовых пикетах значения гамма-активности колебались в пределах: от 10 до 13 МкР/ч. Аномалии были детализированы при помощи дополнительных измерений. Данные точки вынесены на карту.

Результатом работ стало построение схемы радиометрического полигона (см. выше). Масштаб был выбран в соответствии с параметрами полигона и равен 1:20. «Шаг» изолиний «рванный», постоянно увеличивается.

Правила соревнования «Радиометрия» на VI Всероссийской полевой олимпиаде юных геологов

Цель соревнования		оценка умения юных геологов проводить радиометрические наблюдения	
Задачи соревнования		- радиометрические наблюдения в пределах полигона; - построение карты значений поля	
Количество участников от команды	2	Контрольное время	1 час
Максимальная оценка за соревнование		33 балла	
Оборудование, предоставляемое организаторами слета		Оборудование, которое должны иметь участники слета	
- учетная карточка (см. форму) - рулетка - радиометр СРП-68-01		- одежда по погоде - головной убор - бумага, ручка, карандаш, ластик - калькулятор	
Критерии оценки			
Действие			Количество баллов
1. Подготовка к работе на полигоне			маx 2,5
1.1. Подготовка прибора к работе			
- полная правильная подготовка прибора			1,5
- частичная правильная подготовка прибора			0,5
- неправильная подготовка прибора			0
1.2. Проведение контрольного замера гамма-активности поля			
- правильное проведение контрольного замера			1
- неправильное проведение контрольного замера			0
2. Работа на полигоне			маx 12,5
2.1. Точность измерения гамма-активности на рядовых пикетах (16 измерений) - допустимая погрешность до 10% усредненного значения:			маx 8 (16 x 0,5)
Оценка за одно измерение на рядовом пикете:			
- правильное измерение			0,5
- неправильное измерение			0
2.2. Правильность определения интенсивности излучения на всех аномалиях (3 аномалии)			маx 4,5 (3 x 1,5)
Определение интенсивности излучения на одной аномалии			

- ошибка менее 10% от истинной величины – 1,5 балла	1,5
- ошибка в пределах 10-20%	1
- ошибка 20-30%	0,5
- ошибка более 30%	0
3. Построение карты значений поля	маx 14
3.1. Правильность выноса на карту эпицентров всех аномалий (3 аномалии)	маx 3 (3 x 1)
Правильность выноса на карту эпицентра одной аномалии:	
- смещение менее 5 мм	1
- смещение от 5 до 10 мм	0,5
- смещение более 10 мм	0
3.2. Правильность построения карты изолиний (9 квадратов карты)	маx 9 (9 x 1)
Правильность построения одного квадрата карты:	
- правильное построение	1
- неправильное построение	0
3.3. Правильность выбора «шага» изолиний	
- правильный выбор	1
- неправильный выбор	0
3.4. Правильность оцифровки изогамм	
- правильное	1
- неправильное	0
4. Составление краткого отчета, описание методики проделанных работ	маx 3
- подробный отчет и полное описание	3
- подробный отчет и неполное описание	2
- частичный отчет и неполное описание	1
- отсутствие отчета и описания	0
5. Аккуратность и точность в заполнении учетной карточки	маx 1