

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Результаты измерений радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики

УДК: 539.163:542.2:551.351(985)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Пластун С.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Рыжакова Н.К.	к.ф-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Т.С.	к.ф-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технологии радиационной безопасности	Веригин Д.А	к.ф-м.н.		

Планируемые результаты обучения

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, систем учета, контроля и физической защиты источников ионизирующего излучения, технологий радиационной безопасности и защиты от ионизирующего излучения, в профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОПК-1,2, ПК-3, УК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.1), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, систем учета, контроля и физической защиты источников ионизирующего излучения, технологий радиационной безопасности и защиты от ионизирующего излучения.	Требования ФГОС (ПК-9,10,13, 14, 15, ОПК-1,УК-4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, процессы в реакторах и ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.	Требования ФГОС (ПК-1,13, 22, УК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.3), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик источников ионизирующего излучения; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиозоологии.	Требования ФГОС (ПК-2, 4, 6, 8, УК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.4), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.	Требования ФГОС (ПК-5, 7, 11, 12, УК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.4), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.	Требования ФГОС (ПК-16-21, 23, УК-2), Критерий 5 АИОР (п.1.5), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОПК-1, УК-4, 5), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (УК-6, ПК-1, ОПК-1), Критерий 5 АИОР (2.6), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-11, 16, 17, УК-4, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.2.2), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ПК-18, 23, УК-3,6, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3), требования профессиональных стандартов 24.020, 24.079, 24.030

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Отделение школы Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Веригин Д.А.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерская диссертация

Студенту:

Группа	ФИО
0AM84	Пластун Сергей Андреевич

Тема работы:

Результаты измерений радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none"> 1) Научная литература по теме измерения радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики 2) Методики измерения объёмной активности радона и торона.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Обзор литературы по теме диссертации; 2) Выбор оборудования и метода, проведение измерений; 3) Математическая обработка данных; 4) Выявление зависимостей, построение карт, гистограмм и графиков; 5) Анализ результатов и выводы.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:

Обзор литературы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Рыжакова Н.К.	к.ф-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Пластун Сергей Андреевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ). отделения ядерно-топливного цикла
 Период выполнения осенний-весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения магистерской диссертации

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
09.09.19	Составление и утверждение технического задания	
05.10.19	Подбор и изучение материалов по теме	
10.10.19	Выбор оборудования и места проведения измерений	
11.11.19	Проведение измерений	
01.04.20	Систематизация экспериментальных данных	
05.05.20	Анализ и описание результатов	
01.06.20	Подготовка к защите ВКР	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Рыжакова Н.К.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Технологии радиационной безопасности	Веригин Д.А	к.ф.-м.н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0AM84	Пластун Сергей Андреевич

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– заработная плата – отчисление во внебюджетные фонды – накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– ставки руководителя и студента – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	- Анализ конкурентных технических решений - SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	- Иерархическая структура работ - Календарный план-график реализации проекта
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Бюджет НИР: - Расчет материальных затрат; - Расчет амортизации оборудования; - Затраты на оплату труда исполнителей; - Отчисления во внебюджетные фонды; - Накладные расходы
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Определение ресурсоэффективности НИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И.В.	к.т.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Пластун С.А		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM84	Пластун Сергей Андреевич

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Результаты измерений радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Измерение объёмной активности радона и торона в воде и анализ результатов измерения.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	- ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; - ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения; – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– отклонение параметров микроклимата; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень вибрации; – недостаточная освещенность – электромагнитные поля; – психофизиологические нагрузки; – электрический ток.
3. Экологическая безопасность:	– воздействие исследования на экологию; – основы утилизации компонентов исследования.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– выбор и описание типичной ЧС - пожар в рабочем помещении; – превентивные меры и порядок действий при возникновении ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Пластун С.А		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 140 с., 31 рис., 27 табл., 35 источников и 4 приложения.

Ключевые слова: Российский сегмент Арктики, объёмная активность радона и торона в воде, радиометр *RAD7*, таяние льдов и вечной мерзлоты.

Цель работы – исследование объёмной активности радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики.

В ходе выполнения работы изучены методики пробоотбора и измерения объёмной активности радона и торона в воде с помощью радиометра *RAD7*. Проведён отбор и измерение 533 проб воды из поверхностных слоёв и 598 проб с разных глубин на шельфе 5 морей Российского сегмента Арктики. Анализ результатов показал, что радон и торон являются природными трассерами процессов, протекающих в акваториях Российского сегмента Арктики.

Значимость работы определяется важностью освоения шельфа арктических морей, в связи с чем необходима информация о радиогеохимической обстановке.

Область применения: радиоэкология, океанология стока грунтовых вод в море, таяния льдов и вечной мерзлоты, оценка доли речных плюмов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в «Инженерной школе ядерных технологий» ОЯТЦ ТПУ, измерения проведены в ходе экспедиций АМК-73 и АМК-78 в Арктике.

Работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016 с применением пакета Microsoft Excel 2016, графического пакета Surfer 16 и пакет для статистического анализа Statistica.

Оглавление

Введение.....	11
1. Обзор литературы.....	13
1.1 Методы измерения ОА радона и торона в воздухе	17
1.2 Методика измерения ОА радона и торона в воде на основе α -детекторов	26
1.3 Методика измерения ОА радона и торона в воде на основе γ - спектрометров.....	26
2. Методы исследования.....	28
2.1 Принцип работы радиометра <i>RAD7</i>	29
2.2 Калибровка радиометра <i>RAD7</i>	30
2.2.1 Калибровка радиометра <i>RAD7</i> по радону.....	31
2.2.2 Калибровка радиометра <i>RAD7</i> по торону.....	33
3. Экспериментальная часть.....	35
3.1 Планирование исследований	35
3.2 Методики пробоотбора воды и измерения ОА радона и торона	40
3.2.1 Методика пробоотбора из поверхностного слоя воды	40
3.2.2 Методики пробоотбора воды с глубин.....	41
3.2.2 Методика измерения ОА радона и торона в воде.....	45
4. Результаты измерений ОА радона и торона.....	47
4.1 Результаты измерений ОА радона и торона в 2018 году.....	47
4.2 Результаты измерений ОА радона и торона в 2019 году.....	51
4.3 Сравнительный анализ результатов 2018 и 2019 годов	53
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	55
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	55
5.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	61
5.3 Бюджет научно-технического исследования	66
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	71

Выводы по разделу.....	75
6. Социальная ответственность	76
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	76
6.2 Производственная безопасность	79
6.3 Экологическая безопасность.....	90
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	92
Выводы по разделу «социальная ответственность».....	94
Заключение	95
Список используемой литературы:	96
Приложение А (справочное).....	100
Приложение Б (графики зависимости ОА радона и торона от глубины в 2018 году).....	113
Приложение В (графики зависимости ОА радона и торона от глубины в 2019 году).....	123
Приложение Г (гистограммы распределение частот ОА радона и торона в поверхностных водах морей 2019 года)	138

Введение

В связи с развитием экономики северных территорий России особое внимание уделяется исследованию природно-климатических условий Арктики. В частности, интерес представляют радиоизотопные исследования северных морских вод. Основными задачами таких исследований являются: оценка радиоэкологической обстановки в Российском сегменте Арктики; изучение зависимости концентраций радиоизотопов от глубины моря; оценка доли речных вод в морских водах; изучение стока грунтовых вод в море.

Основным природным источником облучения является радиоактивный газ радон, образующийся в результате последовательных радиоактивных превращений ядер семейства урана ($Rn-222$) и тория ($Rn-220$). В ходе 73-го и 78-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» осенью 2018-2019 гг. был запланирован радиометрический анализ проб воды, отобранных из поверхностного слоя воды с помощью «проточной» системы и на гидрологических станциях с помощью батометров с трёх горизонтов: поверхностный слой, придонный слой, слой термо- и галоклининого скачка при помощи батометров (галоклининый скачок – резкое изменение солёности в слое воды от глубины).

Цель исследования: исследование активности радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики.

Задачи:

- изучение методик пробоотбора и измерения ОА радона и торона в воде с помощью радиометра RAD7;
- изучение методики калибровки радиометра RAD7 по эталонному источнику $Rn-220$;
- отбор проб, полученных из проточной системы, боксера и на гидрологических станциях;
- измерение ОА $Rn-222$ и $Rn-220$ в пробах воды с помощью радиометра RAD7;

- обработка результатов измерений;
- анализ полученных результатов.

1. Обзор литературы

Радон – самый тяжелый из инертных газов, не имеет цвета и запаха. Температура его сжижения равна -62 С. В нормальных условиях плотность радона в 7,5 раза выше плотности воздуха. Радон-222 образуется в природе как продукт радиоактивного распада в радиоактивной цепочке, началом которой является U-238, а радон-220 – продукт распада в цепочке Th-232 (рис.1) [1]. Очень хорошо растворим в воде до 460 мл на 1 л воды при нормальных условиях. Благодаря инертности он относительно легко выходит из кристаллической решётки минерала, в котором образуется при радиоактивном распаде Ra. Взаимодействие с водой происходит в результате диффузии. Из-за слабых электронов на внешней оболочке атома радон удерживается Ван-дер-Ваальсовскими силами межатомного взаимодействия в воде и других жидкостях.

В идеальных условиях распределение радона между газовой и жидкой фазами подчиняется закону Генри [Старик, 1960], согласно которому при постоянной температуре растворимость газа в данной жидкости прямо пропорциональна давлению этого газа над раствором. Закон пригоден лишь для идеальных растворов и невысоких давлений. Однако, при изменении температуры потока, его минерализации и скорости или давления газа происходит межфазное перераспределение. При температуре 0 °С отношение концентрации радона, растворенного в воде к его концентрации в воздухе, находится в пределах 0.51–0.53, при повышении температуры до 25 °С этот коэффициент падает до 0.23. Также, растворимость радона падает с увеличением минерализации раствора [Schubert, Paschke, Lieberman et al., 2012]

При описании природных радиоактивных цепочек можно встретить не только стандартные обозначения радионуклидов, но и их исторические названия, встречающиеся как в литературе прошлых лет издания, так и в практической деятельности. В частности, для изотопа Rn-222 распространено

Pb-214 (RaB)	26,8 мин	β	0,672 (48)* 0,729 (42,5)	0,242 (7,4) 0,295 (19,3) 0,352 (37,6)
Bi-214 (RaC)	19,7 мин	β	1,505 (17,7) 1,540 (17,9) 3,270 (17,2)	0,609 (46,1) 1,12 (15,1) 1,76 (15,4)
Po-214 (RaC')	$1,637 \cdot 10^{-4}$ с	α	7,6871	–
Pb-210 (RaD)	22 года	β	0,0165 (80,2) 0,063 (19,8)	0,0465 (4,3)
Bi-210 (RaE)	4,989 сут	β	1,161	–
Po-210 (RaF)	138,4 сут	α	5,3045	–
* В скобках – выход излучения (приведены данные для частиц и γ -квантов с максимальным выходом), %				

Таблица 2. Радиационные свойства изотопов Rn-220 и его основных дочерних продуктов распада

Радионуклид	Период полураспада	Тип распада	Энергия частиц, МэВ	Энергия γ -квантов, МэВ
Rn-220 (Tn)	55,6 с	α	6,288	–
Po-216 (ThA)	0,146 с	α	6,7785	–
Pb-212 (ThB)	10,64 ч	β	0,334 (85,1) 0,573 (9,9)	0,239 (43,3) 0,300 (3,3)
Bi-212 (ThC)	60,55 мин	α (35,93 %) β (64,07 %)	6,050 (25,2) 6,090 (9,6) 1,519 (8,0) 2,246 (48,4)	0,727 (6,6) 1,62 (1,5)
Po-212 (ThC')	$2,98 \cdot 10^{-7}$ с	α	8,7849	–
Tl-208 (ThC'')	3,053 мин	β	1,284 (23,2) 1,517 (22,7) 1,794 (49,3)	0,511 (22,6) 0,583 (84,5) 0,861 (12,4) 2,61 (99,2)

Рассмотрим ряд основных понятий, используемых для описания состояния изотопов радона и их дочерних продуктов распада в воде и атмосфере. Их использование в первую очередь обусловлено тем, что в цепочке распада радона в воздухе и соответственно в воде всегда существует

значительный сдвиг равновесия между газообразным изотопом радона и его ДПР, обусловленный различными процессами, происходящими в атмосфере и воде.

Для описания интегральной объемной активности дочерних продуктов распада радона в воздухе используется такое понятие, как «удельная потенциальная энергия альфа-излучения» – объемная активность короткоживущих дочерних продуктов радона и торона в воздухе, выраженная в единицах энергии альфа-излучения, испускаемого любой смесью короткоживущих дочерних продуктов Rn-222 или Rn-220 в единице объема воздуха при полном распаде дочерних продуктов Rn-222 до Pb-210 или дочерних продуктов Rn-220 до Pb-208 [4,5].

Эквивалентной равновесной объемной активностью (ЭРОА) радона для неравновесной смеси короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе называется такая объемная активность радона в полном равновесии с дочерними продуктами распада, которая имеет такую же величину удельной потенциальной энергии альфа-излучения, как и данная неравновесная смесь.

Эквивалентная равновесная объемная активность Rn-222 связана с объемными активностями Po-218 – Bi-214, а Rn-220 соответственно с Po-216 – Bi-212 следующим соотношением:

$$A_{\text{ЭКВ}}^{\text{Rn}} = A_{V0}^{\text{Rn}} \cdot F = 0,1046 \cdot A_{V1} + 0,5161 \cdot A_{V2} + 0,3793 \cdot A_{V3}$$

$$A_{\text{ЭКВ}}^{\text{Tn}} = A_{V0}^{\text{Tn}} \cdot F = 7 \cdot 10^{-6} \cdot A_{V1} + 0,9133 \cdot A_{V2} + 0,0867 \cdot A_{V3}$$

где через $A_{\text{ЭКВ}}^{\text{Rn}}$ и $A_{\text{ЭКВ}}^{\text{Tn}}$ обозначены соответственно объемные активности радона и торона, A_{V1} , A_{V2} и A_{V3} – соответственно объемные активности в Бк/м³ Po-218, Pb-214, Bi-214 (верхнее уравнение) и A_{V1} , A_{V2} и A_{V3} – соответственно объемные активности Po-216, Pb-212, Bi-212 (нижнее уравнение), Бк/м³. Численные значения коэффициентов отражают долевого вклад каждого продукта распада в общую потенциальную энергию альфа-излучения, отнесенную к единице активности газообразного Rn-222 или Rn-220. Коэффициент равновесия F определяется как отношение ЭРОА радона к ОА радона. На практике коэффициент всегда F<1.

Обзор научной литературы показывает, что данные о содержании радона и торона в морских водах отсутствуют. Имеются только отрывочные данные о содержании радона в пресных водах (см., например, [6]). В зависимости от вида источника удельная активность радона в воде меняется в широких пределах – от нескольких десятков Бк/л в природных водоёмах до нескольких сотен и даже более в колодцах и скважинах. Недостаточное количество данных о содержании радона и торона в воде объясняется во многом сложностью проведения измерений. Основой методов является измерение ОА радона и торона, выделившихся в воздух в результате барботажной воды. Поэтому коротко рассмотрим методы измерения ОА радона и торона в воздухе.

1.1 Методы измерения ОА радона и торона в воздухе

Подробная характеристика современных методов измерения ОА и ЭРОА радона и торона сделана в работах [5,7]. Рассмотрим коротко данные методы. Общая схема инструментальных методов измерений ОА радона представлена на рис.2 [8]. Ретроспективные методы, позволяющие получить информацию о средних уровнях ОА на настоящий момент не имеют достаточного метрологического обеспечения и в данной работе не рассматриваются.

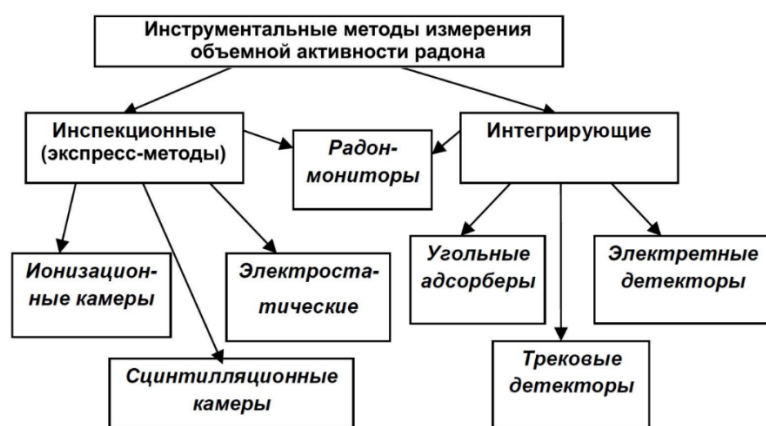


Рис.2 Общая схема инструментальных методов измерений ОА радона

Инспекционные методы

Инспекционные методы измерения ОА радона (экспресс-методы) позволяют получить информацию о текущем значении данного параметра за

относительно короткий интервал времени. Использование ионизационных камер при измерениях ОА радона в целом аналогично их использованию при измерениях ОА других газов. В зависимости от уровня ОА радона измерения могут проводиться как в импульсном, так и в токовом режиме. При использовании ионизационных камер для измерения ОА радона необходимо учитывать накопление ДПР радона, образующихся в объеме камеры на элементах ее конструкции (стенках, электродах, изоляторах и т. д.).

Сцинтилляционные камеры

Сцинтилляционные камеры, или ячейки Лукаса, являются средством измерений, используемым только для измерений ОА радона [9]. Ячейка Лукаса представляет собой сосуд, стенки которого покрыты сцинтиллятором ZnS(Ag), имеющий окно для сопряжения с фотоэлектронным умножителем (рис.3)

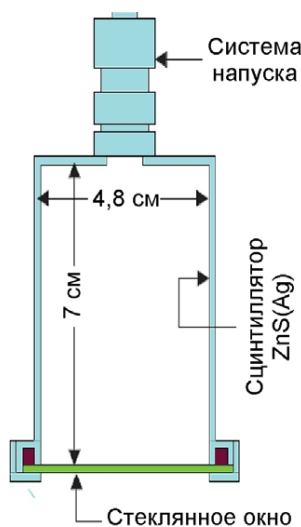


Рис.3 Схема конструкции сцинтилляционной камеры (ячейка Лукаса) [10]

При проведении измерений при помощи сцинтилляционной камеры исследуемая проба воздуха отбирается в камеру после ее предварительного вакуумирования или путем прокачки через камеру пробы воздуха, не менее чем в 5 раз превышающей ее объем. Через некоторое время при распаде радона, находящегося в камере, образуются короткоживущие продукты распада, оседающие на стенках. При распаде α -излучающих ДПР радона Ро-

^{218}Po и ^{214}Po на стенках камеры возникают сцинтилляционные вспышки, регистрируемые фотоэлектронным умножителем.

Электростатическая камера

Основной принцип регистрации радона и торона в воздухе с помощью электростатической камеры основан на том, что дочерние продукты их распада – положительно заряженные ионы ^{218}Po и ^{216}Po [11-15]. Остальные частицы в камере либо нейтральны, либо отрицательно заряжены. Если образующиеся ДПР поместить в электрическое поле, то будет наблюдаться их миграция вдоль силовых линий поля и собирание на поверхности детектирующего устройства.

Электростатическая камера представляет собой полый, чаще всего полусферический или цилиндрический сосуд. Объем электростатической камеры обычно составляет от 1 до 6 л. В камеру устанавливается детектор α -излучения. Ранее использовались сцинтилляционные детекторы [12-14], однако в последнее время используются исключительно поверхностно-барьерные полупроводниковые детекторы, работающие в спектрометрическом режиме. Между стенкой камеры и детектором создается разность потенциалов в 1–4 кВ, чтобы положительно заряженные дочерние продукты распада радона и торона двигались под действием электрического поля к детектору и оседали на его поверхности (рис.4).

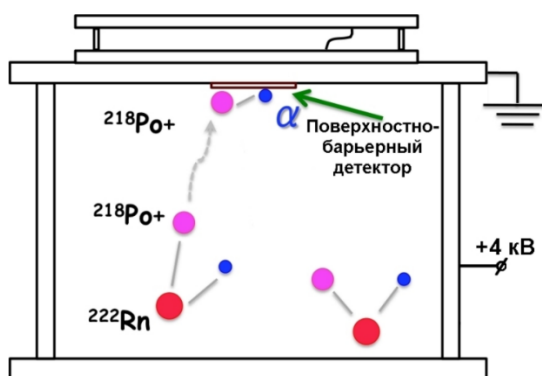


Рис.4 Принцип действия электростатической камеры

Радон поступает в измерительную электростатическую камеру либо путем прокачки воздуха через объем камеры, либо пассивно – путем диффузии

через пористый материал, которым в этом случае окружают внешний электрод [12]. Образующиеся при распаде радона и торона положительно заряженные ионы атомы Po-218 и Po-216 собираются под действием электрического поля на поверхности α -детектора.

Альфа-частицы, образующиеся при распаде Po-218, регистрируются детектором. Использование поверхностно-барьерных полупроводниковых детекторов, работающих в спектрометрическом режиме, позволяет разделить α -частицы, образующиеся при распаде Po-218 и Po-214. Таким образом уменьшается интервал времени между двумя измерениями, поскольку нет необходимости ожидать полного распада осевших на поверхность детектора дочерних продуктов распада перед началом следующего измерения.

Для инспекционных измерений ОА радона в России чаще всего используют приборы PPA-01M-01, PPA-01M-03 или более современные варианты серии «Альфарад плюс» («НТМ-защита», Россия), в которых в качестве детектора используется электростатическая камера [11,15]. Диапазон измерений объемной активности Rn-222 и Rn-220 от 20 до 20000 Бк/м³. Проба анализируемого воздуха закачивается в измерительную камеру через аэрозольный фильтр с помощью воздуходувки. При отборе проб воздуха в помещении рекомендуется использовать патрон-осушитель, который наполнен силикагелем, поглощающим пары воды из контролируемого воздуха.

Интегрирующие методы

Из интегрирующих средств измерения ОА радона и торона, представленных на рис.2, в России нашли распространение и внесены в Государственный реестр средств измерений два типа детекторов – угольные адсорберы и трековые детекторы.

В интегрирующих детекторах радона сигнал пропорционален средней объемной активности радона за период измерений, что позволяет уменьшить эффект разброса значений. В целях получения информации за период измерения 1–6 сут. могут быть использованы детекторы, принцип действия

которых основан на способности активированного угля поглощать радон из окружающей атмосферы. Это связано с удобством применения, возможностью регенерации и повторного использования активированного угля и меньшим временем экспонирования, т. е. более быстрым получением результата.

Метод угольных адсорберов

Метод угольных адсорберов основан на отборе пробы сорбционной колонкой с активированным углем, открытой с одного конца, с последующим измерением активности угля по β - или γ -излучению короткоживущих ДПР радона Рb-214 и Вi-214. Адсорбция радона происходит пассивно, без использования принудительной прокачки. Метод промышленно реализован в измерительном комплексе «Камера-01» (НТЦ «Нитон», Россия) для мониторинга радона [16]. В комплексе используется активированный уголь марки СКТ-3, обладающий высокой сорбционной емкостью по радону. Регенерация угля для очистки от сорбированных молекул воды и радона осуществляется с помощью регенератора. Для корректировки сорбционной емкости сорбционной колонки контроль влажности воздуха проводится путем определения привеса ΔM (г) к массе активированного угля за время отбора пробы. Отбор проб происходит в течение 1–6 сут. сорбционной колонкой, установленной в помещении. Через 3–12 ч после окончания пробоотбора измеряют активность радона в угле, засыпая уголь в блок детектирования β -излучения БДБ-13. Обработка накопленных импульсов, просмотр и оформление результатов измерений осуществляется при помощи специализированного программного обеспечения.

Твердотельные трековые детекторы

В последнее время для пассивной регистрации тяжелых заряженных частиц (α -частиц, осколков деления, частиц космического происхождения и др.) широкое применение находят так называемые твердотельные трековые детекторы [17-20]. Заряженные частицы, проходя через диэлектрики, теряют вдоль своего пути энергию и производят радиационные нарушения в

веществе. В результате вдоль траектории частицы образуется область пространственного заряда. Как правило, эта область обладает повышенной химической растворимостью и называется скрытым, латентным, треком. Этот трек может быть обнаружен без предварительной обработки либо при помощи электронного микроскопа, либо спектрометрическими методами. Благодаря отсутствию в диэлектриках свободных электронов область латентного трека достаточно стабильна и в зависимости от состава материала, температуры и влажности среды может сохраняться без изменений от нескольких суток до нескольких лет. При воздействии на диэлектрики с латентными треками специально подобранных растворителей происходит образование на поврежденных участках пустотелых конических или цилиндрических каналов, уходящих от поверхности вглубь материала. Это и есть выявленные треки.

Для проведения измерений трековый детектор помещается внутрь специальной камеры. Внутреннее пространство камеры отделяется от атмосферы диффузионной мембраной. Характеристики диффузионной мембраны подбираются таким образом, чтобы исключить поступление внутрь пыли и аэрозолей из наружной атмосферы. С другой стороны, для свободного поступления радона в камеру время диффузионного переноса газообразного радона через мембрану должно быть много меньше периода полураспада радона. В этом случае плотность треков, образующихся в веществе чувствительного объема трекового детектора, пропорциональна средней ОА радона с учетом продолжительности экспонирования. Количество треков может быть подсчитано вручную с использованием микроскопа, с применением цифровых систем распознавания изображений, а также других автоматизированных систем (например, электроискрового счетчика).

В России был разработан и выпускается целый ряд радиометров радона на основе материала LR-115 (нитроцеллюлоза) (рис.5). [21,22]



Рис.5 Интегрирующие трековые радиометры радона на основе LR-115, разработанные следующими организациями: 1 – детектор Санкт-Петербургского института радиационной гигиены; 2 – детектор Радиевого института им. В. Г. Хлопина; 3, 4 – детекторы, разработанные в ЗАО «Радиационные и экологические исследования», Москва

В странах Европы широко используются трековые детекторы на основе пластика CR-39, имеющего более широкий энергетический диапазон регистрации α -частиц и более высокую воспроизводимость измерений. Детекторы на основе пластика CR-39 представлены на рис.6.



Рис.6 Радиометры радона на основе поликарбонатного материала CR-39, выпускаемые фирмами NRPB и RadoSys [23,24]

Гамма-спектрометры

Для измерения ОА радона и торона в воздухе можно использовать гамма-спектрометры, которые фиксируют гамма-излучение их продуктов распада, собранных на различных фильтрах.

Рассмотрим процесс образования гамма-квантов в цепочке распадов $Rn-222 \rightarrow Po-218 \rightarrow Pb-214 \rightarrow Bi-214 \rightarrow Po-214 \rightarrow Pb-210$. В результате β – распада с периодом 27 минут $Pb-214 \rightarrow Bi-214$ образуется ядро висмута, возбуждение которого снимается излучением гамма квантов с энергией 242, 295, 352 кэВ. В свою очередь ядро висмута испытывает β – распад с периодом 19 минут $Bi-214 \rightarrow Po-214$. Переход ядра полония сопровождается излучением гамма квантов с энергией 609, 768, 1120, 1238, 1407, 1764, 2120 кэВ. Схемы уровней дочерних ядер висмута и полония и вероятности их заселения в результате β – распада свинца и висмута приведены на рис.7 [25]. Похожий процесс образования гамма-квантов претерпевает и $Rn-222$, чьи радиационные свойства и его основных дочерних продуктов распада с энергиями γ -квантов представлены в табл. 2.

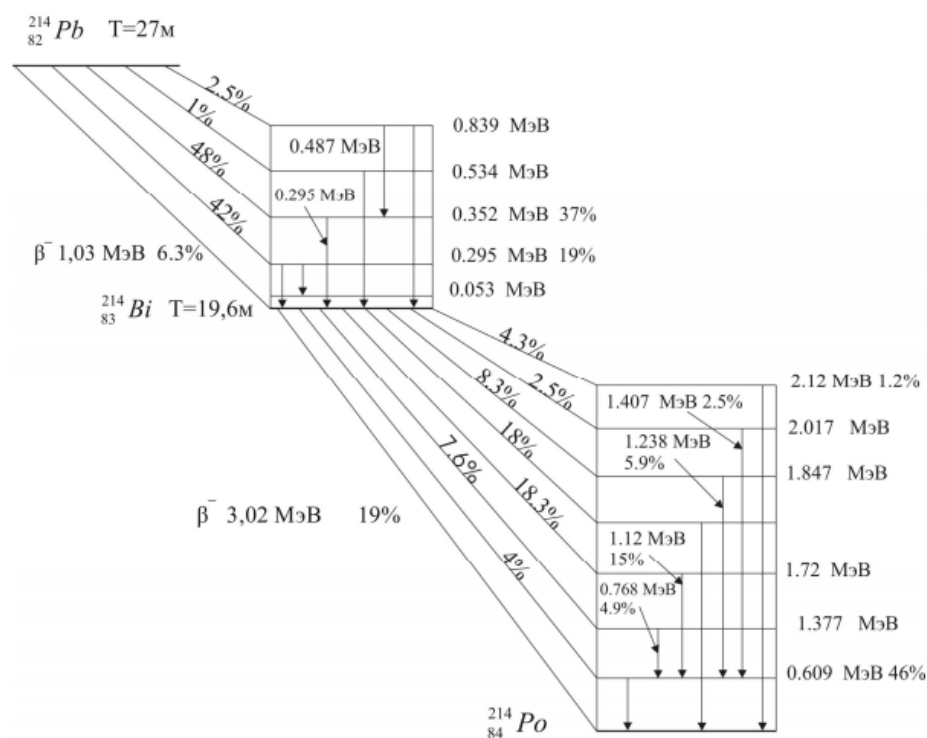


Рис. 7 Схема гамма-переходов, относящихся к бета-распадам свинца-214 и висмута-214.

Принято считать, что методы с использованием β - и γ -спектрометрии продуктов распада радона (ДПР) не являются количественными, так как основаны на не прямых измерениях и подвержены сильному влиянию систематических ошибок. В результате распада радона дочерние ядра $Po-218$,

Pb-214, Bi-214, и Po-214 оказываются на различных конденсационных и диспергационных аэрозолях, далее они должны быть собраны на фильтре, а затем измерены с высокой эффективностью. На каждом из этих этапов необходимо учесть влияние систематических ошибок.

Аэрозоли с ДПР можно собрать, прокачивая воздух через аэрозольный фильтр, который должен удовлетворять двум требованиям. За время, ограниченное периодом полураспада дочерних продуктов, набрать достаточное для измерения количество аэрозолей, содержащих ДПР и при этом сохранить высокую эффективность.

Наиболее распространенными типами гамма-спектрометра являются сцинтилляционный и полупроводниковый. Сцинтилляционный гамма-спектрометр состоит из сцинтиллятора и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). В сцинтилляторе под действием электронов, создаваемых γ -квантами, возникает кратковременная вспышка света - сцинтилляция, преобразуемая в ФЭУ в электрический импульс. Амплитуда импульса пропорциональна энергии γ -кванта. В качестве сцинтилляторов, например, применяют твердые неорганические кристаллы NaI, активированные Tl. Разрешение сцинтилляционного гамма-спектрометра 4- 5 % для γ -квантов с энергией 1 МэВ. Эффективность может приближаться к 100%.

В полупроводниковом гамма-спектрометре γ -кванты обычно регистрируются в монокристалле германия. Электроны, образуемые γ -квантами, производят электронно-дырочные пары, которые под действием приложенного электрического поля создают импульс тока, амплитуда которого пропорциональна энергии электрона. Разрешение для γ -квантов с энергией 1 МэВ может достигать 0.1- 0.2%. Эффективность обычно ниже, чем у сцинтилляционный гамма-спектрометр

Для спектрометрии γ -квантов низких энергий (десятки – сотни кэВ) используют также кристалл- дифракционные гамма-спектрометры, измеряющие длину волны γ -кванта, и газовые пропорциональные счетчики. Для спектрометрии γ -квантов высоких энергий используются гамма-

спектрометр, основанные на регистрации Черенковского излучения от электронно-фотонных ливней, создаваемых γ -квантами в радиаторах из тяжелого прозрачного вещества, например, свинцового стекла. Определить энергию высокоэнергичного γ -кванта можно также в пузырьковой камере, измеряя траекторию рождаемой им пары электрон-позитрона в магнитном поле [26].

1.2 Методика измерения ОА радона и торона в воде на основе α -детекторов

Все измерения ОА в пробах воды для вышеописанных детекторов, кроме гамма-спектрометра, основаны на использовании циркуляционного способа перевода радона и торона вместе с воздухом из объема пробы в рабочую камеру блока измерения ОА в процессе барботирования.

Методика заключается в дегазации воды, находящейся в ёмкости, с помощью барботёра. Скорость прокачки воздуха выбирается исходя из размера и количества пузырьков, барботирующих воду. Количество пузырьков должно быть достаточно большим, а их размер достаточно малым относительно объема используемой ёмкости для наилучшей дегазации радиоизотопов. Газ, выделившийся из воды, откачивается с помощью вакуумного насоса. Далее, проходя через осушитель, газ попадает в измерительную камеру, где в зависимости от выбранного цикла (времени на одно измерение) и режима чувствительности производится подсчёт объёмной активности радона и торона в воде. Затем воздух проходит через обратный клапан и попадает в ёмкость с барботёром, замыкая систему.

1.3 Методика измерения ОА радона и торона в воде на основе γ -спектрометров

Измерения ДПР радона и торона в воде с помощью гамма-спектрометров возможно несколькими способами. Аналогичным способом, рассмотренным для аэрозольного фильтра, и без фильтрования.

Фильтрование предполагает прокачку воды через специальный сорбент. После пропускания фильтрата через сорбент, фильтр сушат в

муфельной печи до воздушно-сухого состояния и проводят гамма-спектрометрический анализ.

Без фильтра всё сводится к выбору геометрии измерения, зависящей от используемой ёмкости для проведения гамма-спектрометрического анализа.

2. Методы исследования

В качестве измерительного оборудования для отобранных проб воды был использован радиометр *RAD7*(рис.8), который обладает достаточно хорошими техническими характеристиками(табл.1) для определения объёмной активности радона и торона в воде в условиях его малых концентраций. В ходе измерений минимальное фиксируемое значение для определения ОА радона и торона в воде составило 7 Бк/м³.



Рис.8 Радиометр *RAD7*

Таблица 3. Технические характеристики радиометра *RAD7*

Параметры	Характеристики
Точность измерений	+/-5% абсолютной точности, 0% – 100% RH(влажность)
Чувствительность	SNIFF режим, 0.25 мкР/ч/(пКи/л), 0.0067 мкР/ч/(Бк/м ³) NORMAL режим, 0.5 мкР/ч/(пКи/л), 0.013 мкР/ч/(Бк/м ³)
Диапазон измерений	0.1 – 80,000 пКи/л (4 – 300,000,000 Бк/м ³)
Внутренний фон	0.005 пКи/л (0.2 Бк/м ³) или меньше
Время восстановления	Остаточная активность в режиме Sniff снижается в 1000 раз за 30 минут
Рабочие диапазоны	Температура: 32° – 113°F (0° – 45° C) Влажность: 0% – 100%, без конденсации
Цикличность	Пользовательское количество циклов, от 1 до 99 до неограниченного, за раз Пользовательское время цикла, от 2 минут до 24 часов

2.1. Принцип работы радиометра *RAD7*

RAD7 является одним из лучших радиометров, построенных с использованием электростатической камеры, и используемый в качестве эталонного средства измерения ОА радона и торона в воздухе и воде. На рис.9 представлена схематичное устройство радиометра.

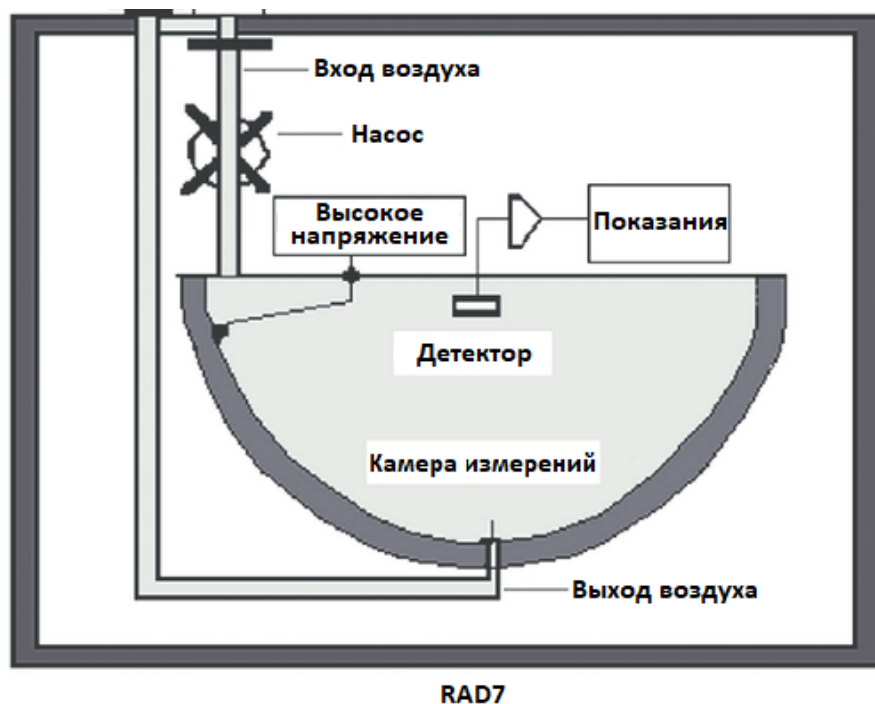


Рис.9 Схематичное устройство радиометра *RAD7*

Воздух с помощью вакуумного насоса поступает со скоростью 1 Л/мин в полусферическую камеру объемом 0,8 л. Камера находится под напряжением 2000...2500 В и имеет высокий (положительный) потенциал. Образующиеся при распаде радона и торона положительно заряженные ионы Po-218 и Po-216 собираются под действием электрического поля на поверхности пассивированного ионно-имплантированного планарного кремниевого α -детектора. Преимущество такого вида детектора над старыми поверхностно-барьерными полупроводниковыми детекторами, которые установлены в таких радиометрах как PPA-01M-01, PPA-01M-03 и более современном варианте «Альфарад плюс» в следующем: P-N переход находится внутри слоя кремния, а не на его поверхности, поэтому нет необходимости в использовании дополнительной герметизации детектора;

контакты, сформированные методом ионной имплантации, обеспечивают тонкий, хорошо сформированный переход; существенно меньший ток утечки; существенно меньшая толщина мёртвого слоя (не более 500 Å). Данный вид детектора позволяет вести одновременные измерения радона и торона параллельно. Попавшие на детектор α -частицы при распаде Po-218 и Po-216 фиксируются в виде спектра и рассчитанного значения ОА, которые сохраняются во внутреннюю память устройства. Все результаты возможно посмотреть на внутреннем дисплее радиометра либо через программу CAPTURE (рис.10).

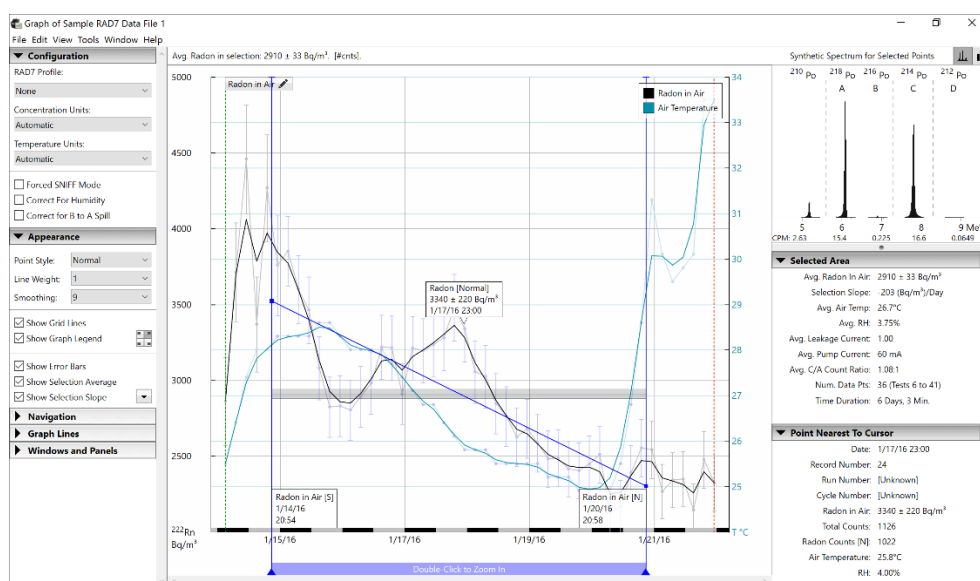


Рис.10 Приложение Capture для работы с данными RAD7

2.2. Калибровка радиометра RAD7

Калибровка прибора необходима для подстройки показаний ОА выходной величины радона и торона, согласующейся с входной эталонной величиной с заданной точностью. Полученные в ходе калибровки действительные значения ОА влияют на точность и достоверность последующих измерений.

В качестве методики калибровки устройства была рассмотрена система «Natural Rock Sample System» (рис.11). Система включает в себя: контейнер с гранитными камнями массой 600 г, добытого из обычного карьера; осушитель Drierite; и насос. Гранит содержит в себе вкрапления урана-238 и тория-232,

поэтому в контейнере содержатся все продукты их цепочки распада, в том числе Rn-222 и Rn-220. Конструкция контейнера имеет два штуцера с кранами, полностью герметизирующие его до момента использования.

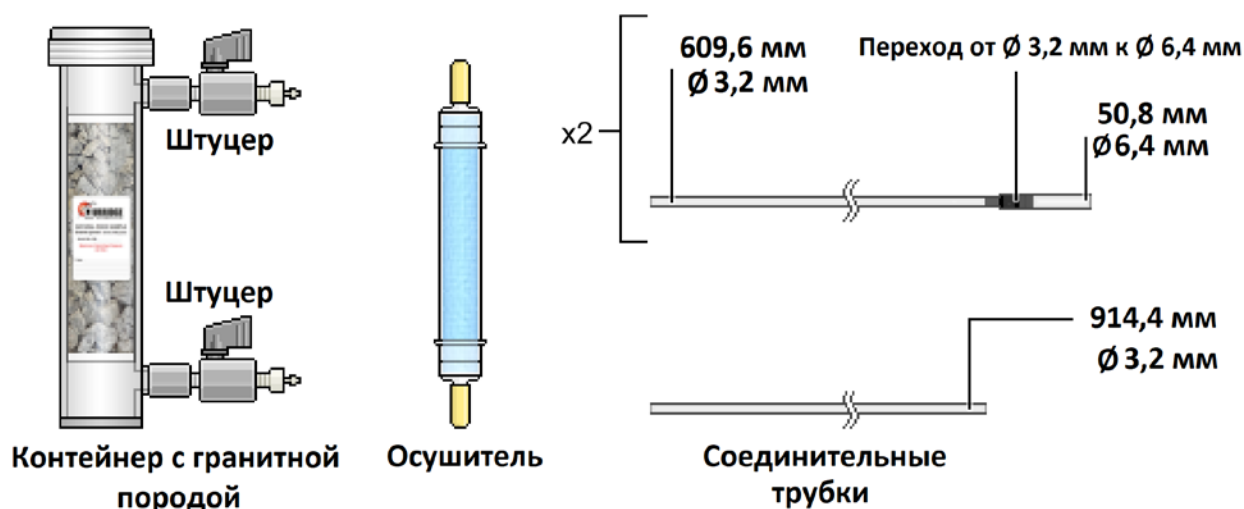


Рис.11 Система «Natural Rock Sample»

Одним из главных условий для правильной калибровки прибора является отсутствие влаги в контейнере с гранитной породой. Влага на поверхности породы препятствует выходу газа и уменьшает точность калибровки.

Влага из системы убирается с помощью осушителя Drierite, состоящего на 98% из CaSO_4 , поглощающего воду, и на 2% из CoCl_2 , применяемого для индикации содержания воды в осушителе. Индикатор гигроскопичен и изменяет цвет в зависимости от содержания в нём воды: от сине-голубого (сухой) до розового (мокрый).

2.2.1 Калибровка радиометра RAD7 по радону

Через месяц после герметизации контейнера с гранитной породой количество радона достигнет равновесного значения в 1% с его дочерними продуктами распада. Зная объём контейнера, можно рассчитать ОА радона в воздухе.

Для калибровки радиометра необходимо собрать систему, представленную на рис.12. Система состоит из контейнера с гранитной породой, осушителя, двух трубок длиной 609,6 мм и диаметром 3,2 мм с

переходником от 3,2 мм на 6,4 мм и длиной 50,8 мм для соединения контейнера с осушителем и радиометром. Трубки длиной 914,4 мм и диаметром 3,2 мм и фильтра на основе гидрофильной нейлоновой мембраны с диаметром пор 0,45 мкм для соединения радиометра с контейнером.

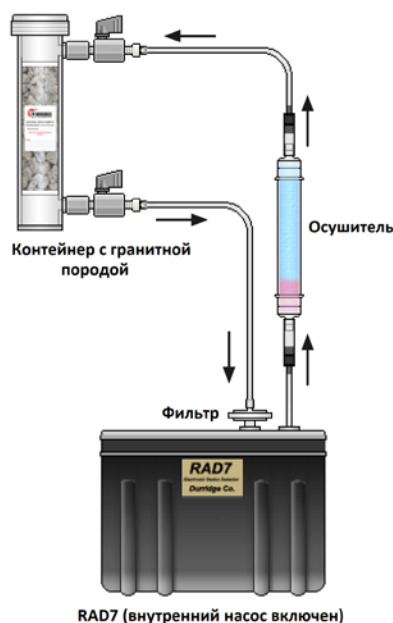


Рис.12 Система калибровки радиометра *RAD7* по радону

Перед сборкой системы необходимо продуть измерительную камеру радиометра сухим воздухом через осушитель не менее 5-ти минут. Выставить протокол измерения 1-Day и продолжить прокачку воздуха до падения влажности в измерительной камере до 9%.

Собрав систему, следует установить протокол 1-Day со следующими настройками: количество циклов – 6; время цикла – 30 мин. Открыть краны контейнера с гранитной породой и включить программу измерения. По окончании программы следует записать среднее значение последних 4-х измерений. При необходимости в калибровке радиометра по торону рекомендуется приступить к ней сразу после окончания калибровки по радону.

При отсутствии необходимости в дальнейшем использовании контейнера с гранитной породой, его необходимо осушить до влажности в 4% и менее и закрыть краны. Последующее использование контейнера рекомендуется не менее через месяц.

2.2.2 Калибровка радиометра RAD7 по торону

RAD7 позволяет вести прямые измерения ОА торона в воздухе, фиксируя продукты распада Po-216. Торон имеет малый период полураспада в 55,6 с, и большая его часть распадётся, если время попадания в измерительную камеру превысит 1 минуту. Для решения этой проблемы длина соединительных трубок с образцом торона должна быть минимальной и последовательной. Кроме того, калибровочная система должна соответствовать системе для обычных измерений ОА торона (рис.13).

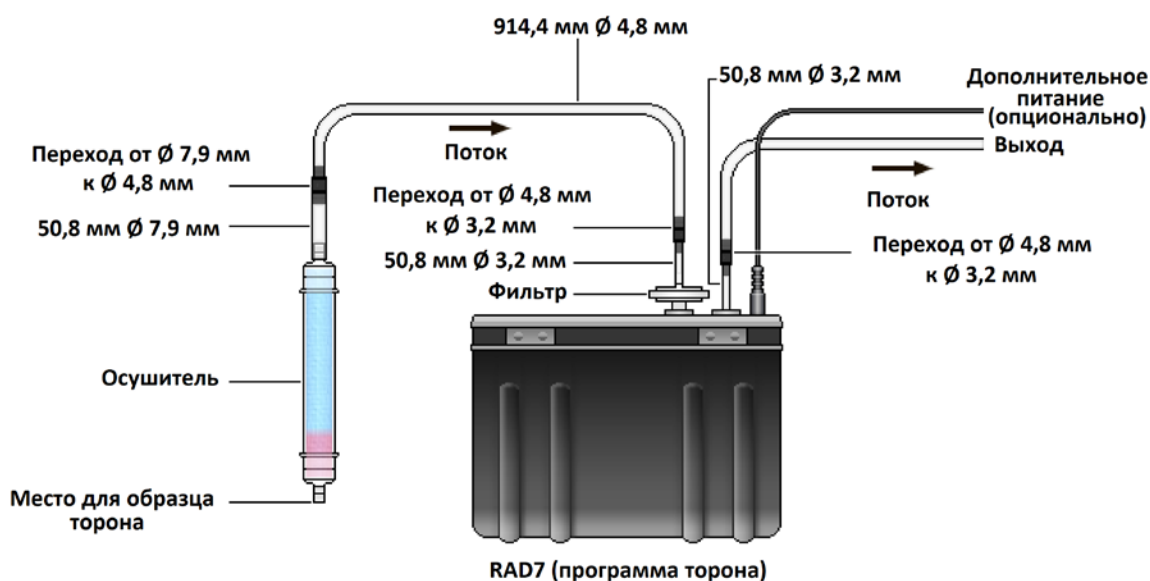


Рис.13 Стандартная схема для измерения торона

Альфа частицы при распаде Po-216 имеют энергию в 6,78 МэВ, которая находится между энергиями от α -частиц Po-218 (6,11 МэВ) и Po-214 (7,83 МэВ) в цепочке распада Rn-222. RAD7 работает в спектрометрическом режиме и регистрирует соответствующие энергии частиц по каналам. Альфа частицы при распаде Po-216 фиксируются в канале В, в то время как α -частицы Po-214 в канале С. Однако около 1% α -частиц Po-214 имеют низкоэнергетичный хвост в пике, который фиксируется в канале В. Размытие пика канала В нивелируется коэффициентом, рассчитываемым RAD7 и программой CAPTURE при подсчёте ОА торона. Несмотря на вводимый коэффициент, при измерении торона или калибровке прибора по нему важно иметь минимальное фиксируемое значение α -частиц по каналу С. Так как это вносит неопределённость в измерения торона.

Если перед калибровкой по торону проводилась калибровка по радону с использованием контейнера с гранитной породой, рекомендуется подождать 1-2 часа для снижения количества отсчётов α -частиц в минуту в канале С до 10.

При калибровке радиометра по торону большое влияние оказывает не только общий объём системы, но и скорость прокачки воздуха. Поэтому важно собрать систему в точности как на рис.14.

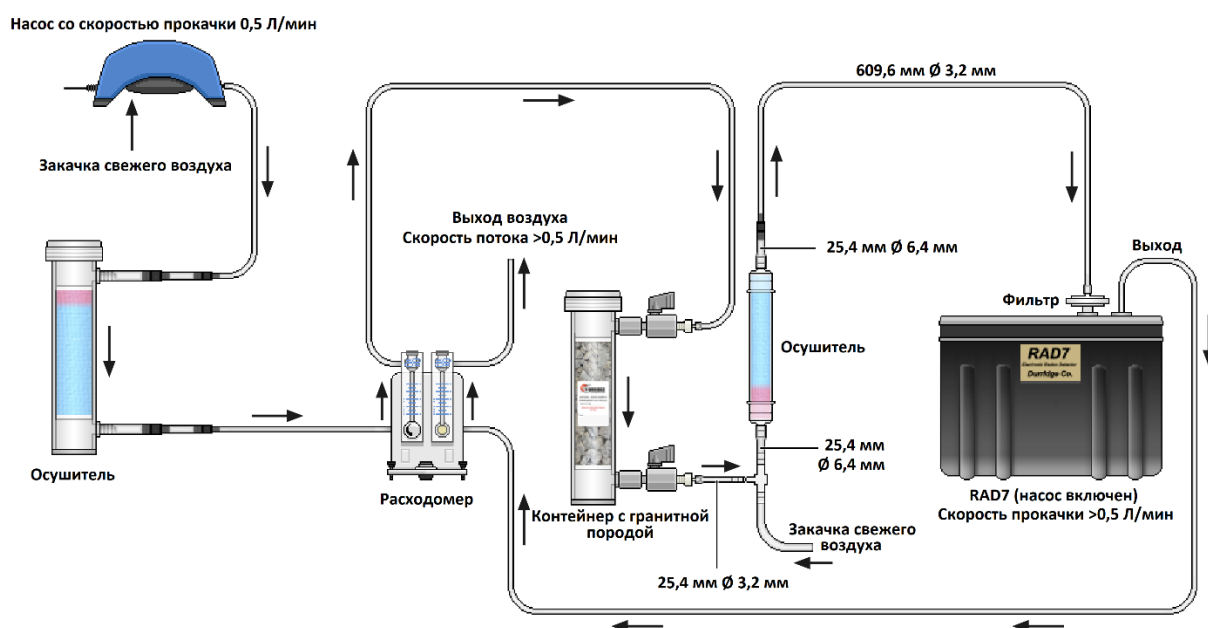


Рис.14 Система калибровки радиометра *RAD7* по торону

Собрав систему, следует установить с помощью расходомера скорость прокачки воздуха через контейнер с гранитной породой в 0,55 л/мин. Данная скорость прокачки устанавливается в качестве стабильной, так как скорость прокачки внутреннего насоса радиометра варьируется в диапазоне 0,6...1 л/мин. Для начала измерения торона рекомендуется выбрать стандартный протокол и нажать старт. Все калибровочные данные необходимо сохранить для последующего анализа и последующей сходимости результатов при повторной калибровке.

3. Экспериментальная часть

3.1 Планирование исследований

21 сентября 2018 из порта Архангельск в 73 рейс вышло научно-исследовательское судно “Академик М. Келдыш” для выполнения в течение 35 дней комплекса биогеохимических, геофизических, геологических и радиоизотопных исследований, направленных на решение ряда приоритетных задач в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации (РФ) в морях Восточной Арктики. В первую очередь, это - исследования состояния подводной мерзлоты, экологического и радиоэкологического состояния вдоль трассы Северного морского пути (СМП)(рис.15), потоков парниковых газов и других компонентов цикла углерода в арктической системе суша-шельф-атмосфера. Исследования были сфокусированы на шельфе морей Восточной Арктики (МВА)(рис.16), самом широком и мелководном шельфе Мирового океана, где сосредоточены гигантские запасы углеводородов в форме нефти, угля и природного газа, в основном метана, которым как предполагается сопутствует выход грунтовых вод с природными изотопами эманации Ra-226 и Ra-224 радона и торона.

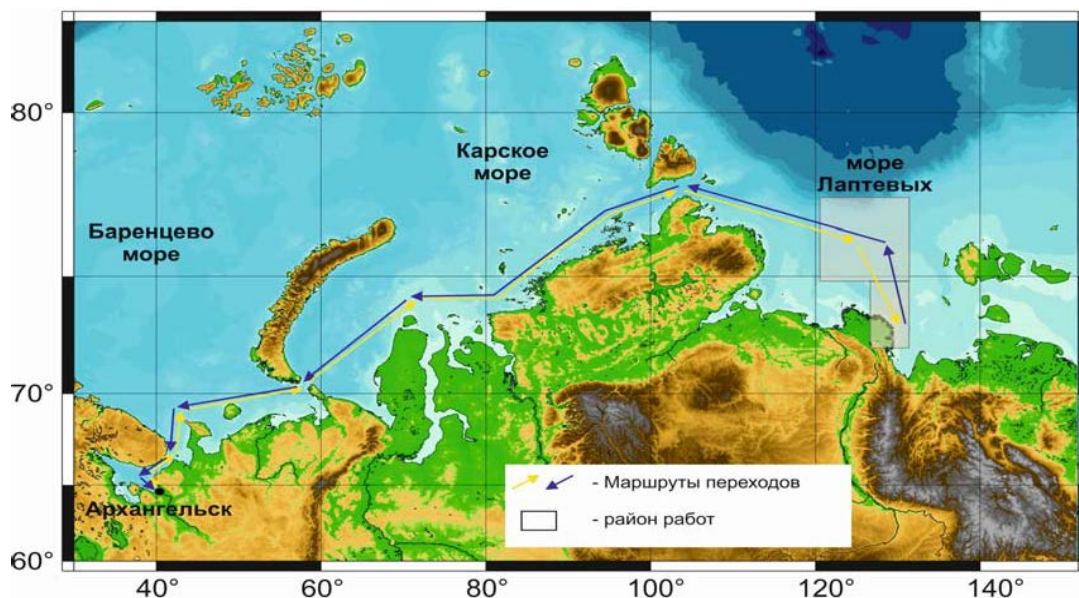


Рис.15 Маршрут переходов судна в ходе 73-го рейса

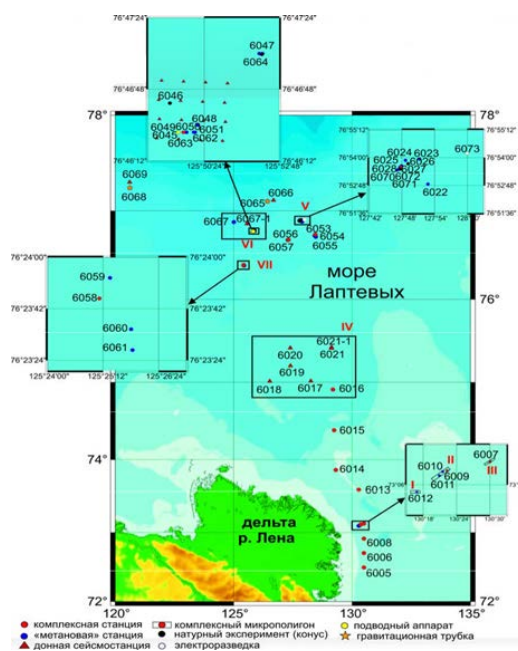


Рис.16 Районы исследования экспедиции 73-го рейса

В ходе рейса 2018 года основной упор комплексных исследований, как поверхностных вод, так и на гидрологических станциях был сделан на море Лаптевых.

Белое море и Баренцево море, пересекаемые судном во время переходов, рассмотрены не были.

Установка проточной системы, её настройка, пробоотбор воды с поверхностно слоя и последующее измерение ОА радона и торона в пробах начались в акватории Обской губы.

В 2018 году производился только пробоотбор с поверхностного слоя воды и пробоотбор воды с глубины на гидрологических станциях. Пробоотбор донных осадков не проводился. Связано это с загруженностью единственного сотрудника группы радиоизотопных исследований, занимавшегося пробоотбором и измерениями ОА радона и торона в пробах на одном приборе. По той же причине при начале работ на гидрологических станциях был прекращён пробоотбор воды с поверхностного слоя.

В ходе экспедиции 2018 года было отобрано 74 пробы из проточной системы в Карском море и море Лаптевых. Большинство проб было отобрано в областях, находящихся под влиянием стока рек Обь, Енисей и Лена,

индикатором влияния речного стока служила пониженная поверхностная соленость. Так же были отобраны пробы в зонах, находящихся вне влияния стока этих рек для оценки концентраций радиоизотопов в морской воде. Схема точек пробоотбора воды с поверхностного слоя представлена на рис. 17.

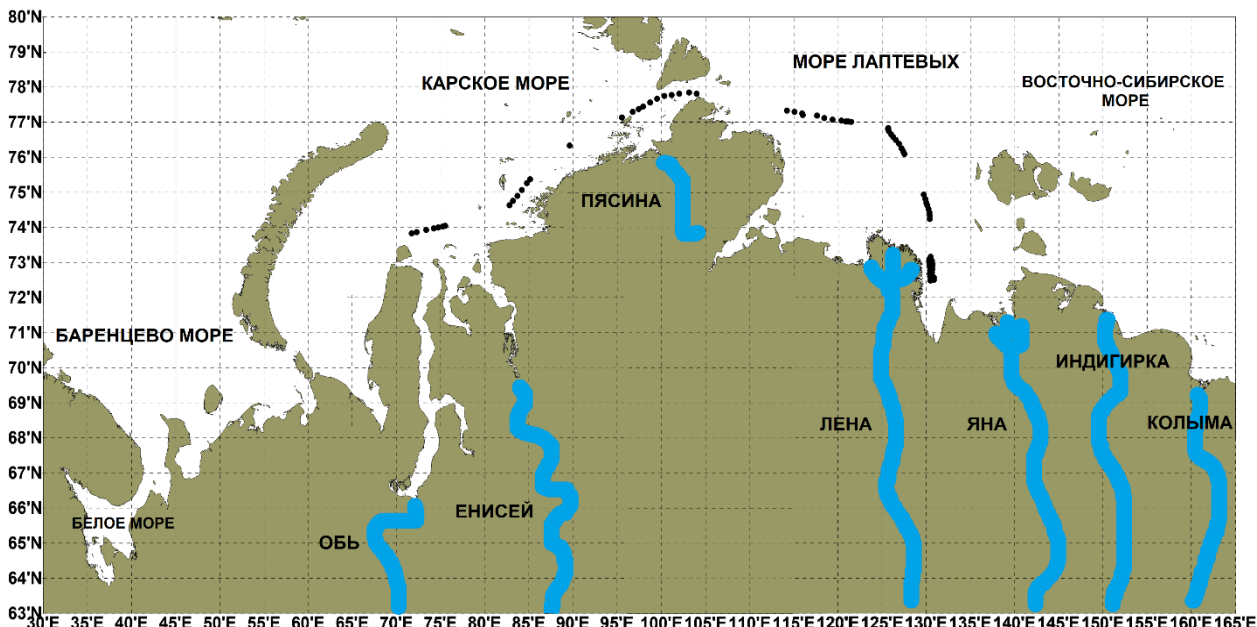


Рис.17 Схема точек пробоотбора поверхностных вод в 2018 году

Пробоотбор воды с глубины был произведён на 20 гидрологических станциях в море Лаптевых. Всего было отобрано 237 проб, схема точек пробоотбора воды на станциях представлена на рис. 18.

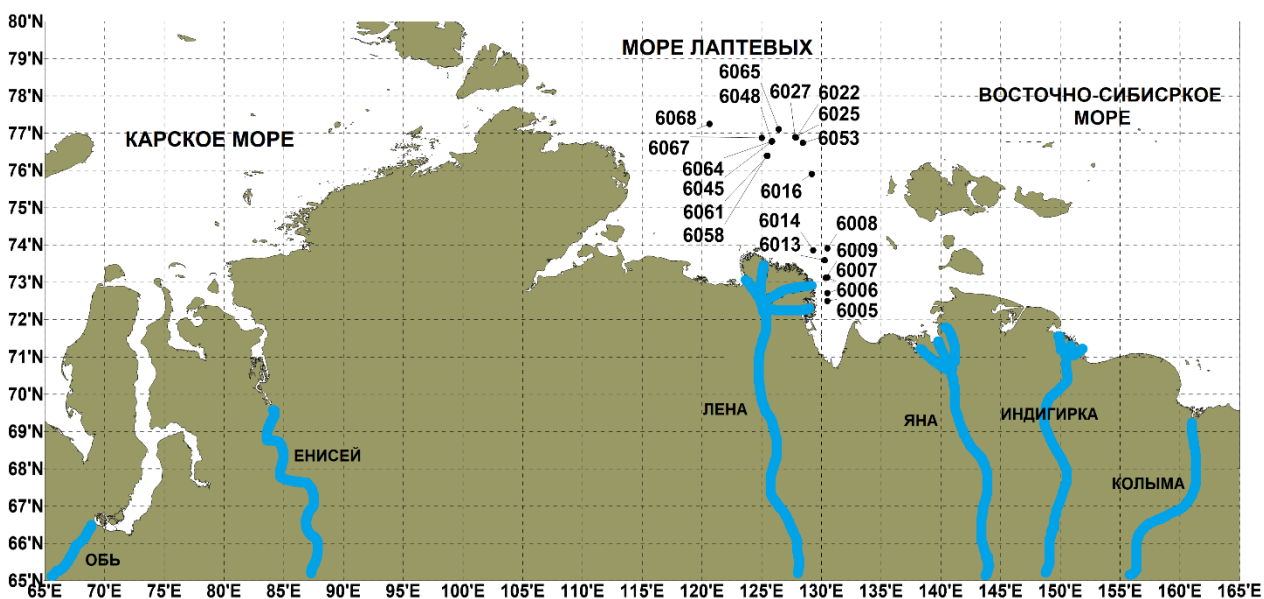


Рис.18 Схема точек пробоотбора воды на станциях в 2018 году

17 сентября 2019 года состоялся 36 дневный 78 рейс на научно-исследовательском судне “Академик М. Келдыш” в продолжение комплексных океанографических исследований для выявления особенностей функционирования геосистем «литосфера-гидросфера-атмосфера» арктических морей России 73 рейса 2018 года. На рис. 19 показаны маршрут и районы исследования в ходе 78 рейса. Видно, что в 2019 году границы исследуемых акваторий были расширены до восточной границы Восточно-Сибирского моря.

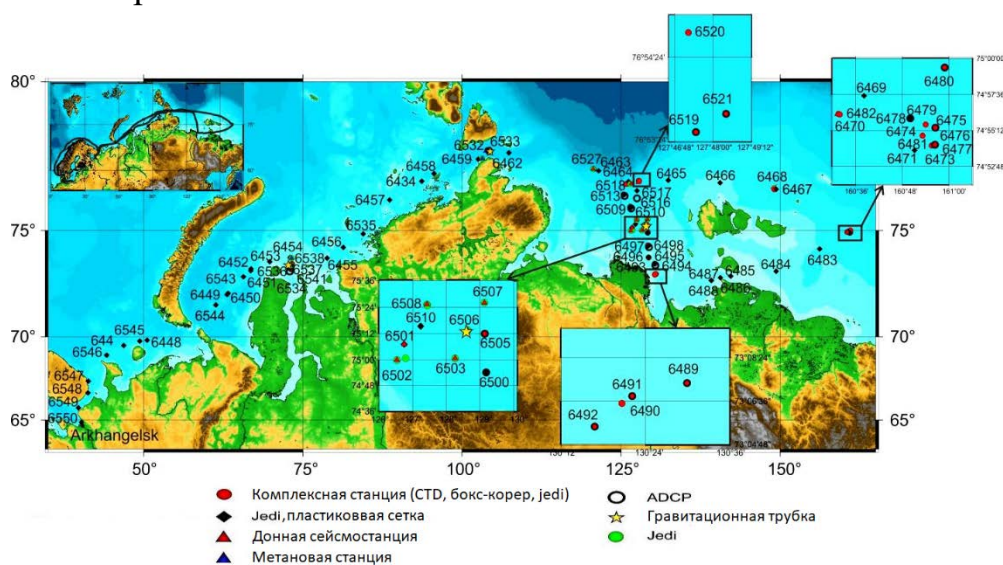


Рис.19 Маршрут переходов и районы исследования 78-го рейса

В ходе экспедиции было отобрано 455 проб из проточной системы в Белом море, Баренцевом море, Карском море, море Лаптевых и в Восточно-Сибирском море (рис. 20)

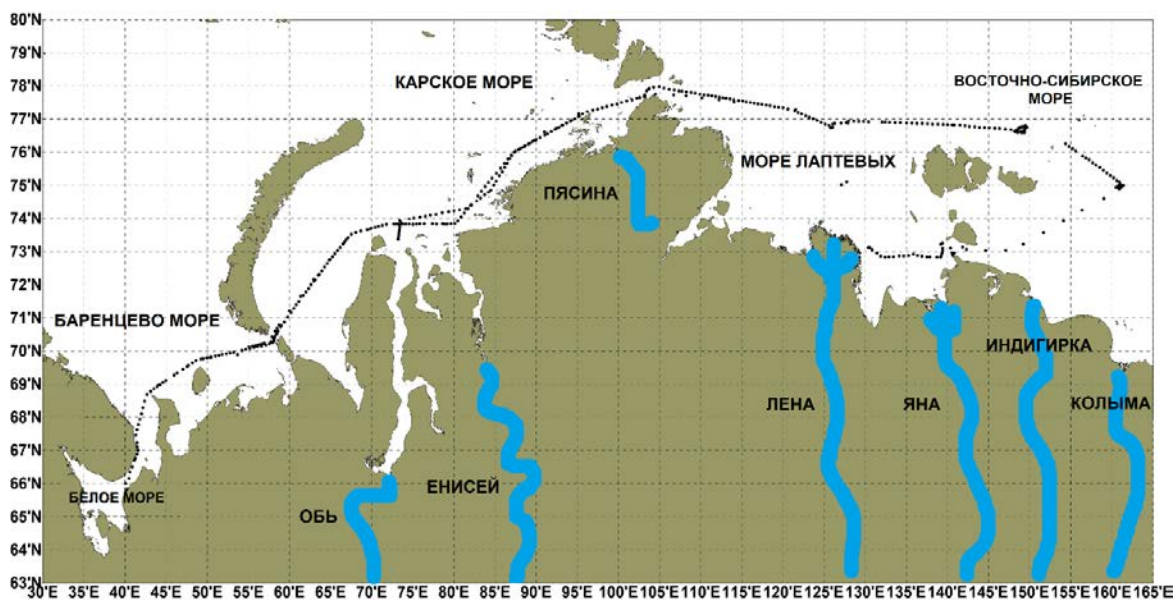


Рис.20 Схема точек проотбора поверхностных вод в 2019 году

Пробоотбор воды с глубин был произведён на 29 гидрологических станциях. Станции располагались: в Карском море, в районе Обской губы и проливе Вилькицкого; в море Лаптевых в районе дельты реки Лены и вдоль гидрологического разреза от Янского залива до котловины Нансена и в Восточно-Сибирском море в районе остров Беннетта. Всего было отобрано 455 проб, схема точек пробоотбора воды на станциях представлена на рис. 21.

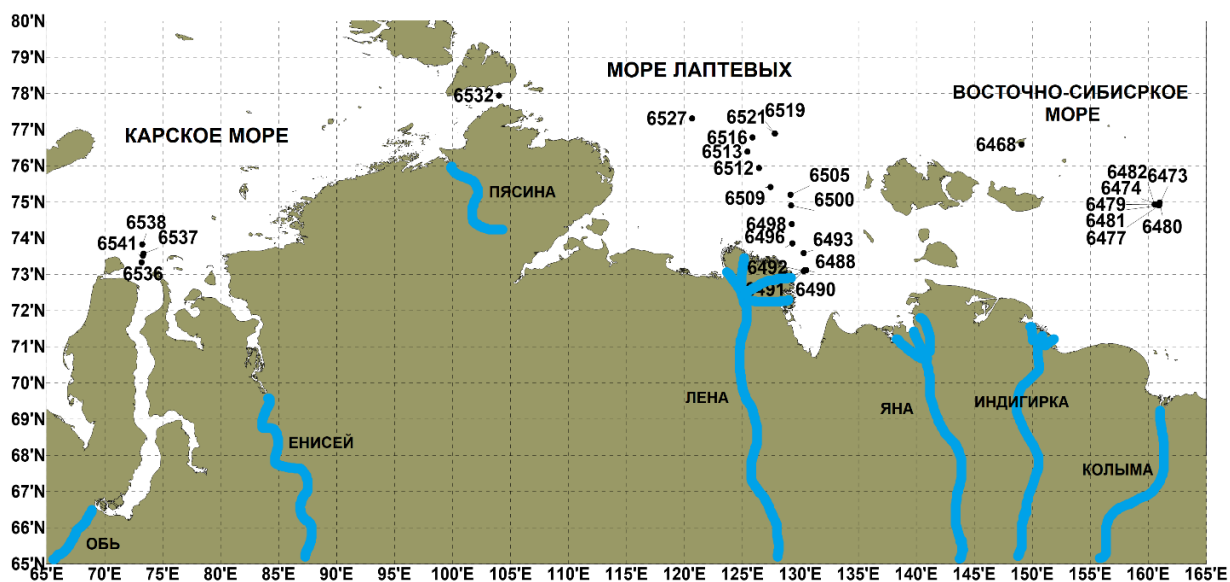


Рис.21 Схема точек проотбора воды на станциях в 2019 году

Увеличение количества проб воды, отобранных с поверхностного слоя и на гидрологических станциях в 2019 году, связано с ростом численности отряда с одного до трёх человек. Посменная работа проводилась также с использованием только одного прибора.

3.2 Методики пробоотбора воды и измерения ОА радона и торона

3.2.1 Методика пробоотбора из поверхностного слоя воды

Пробоотбор с поверхностного слоя воды производился с помощью проточной системы (рис.22), разработанной Д.А Космачом из ТОИ ДВО РАН.

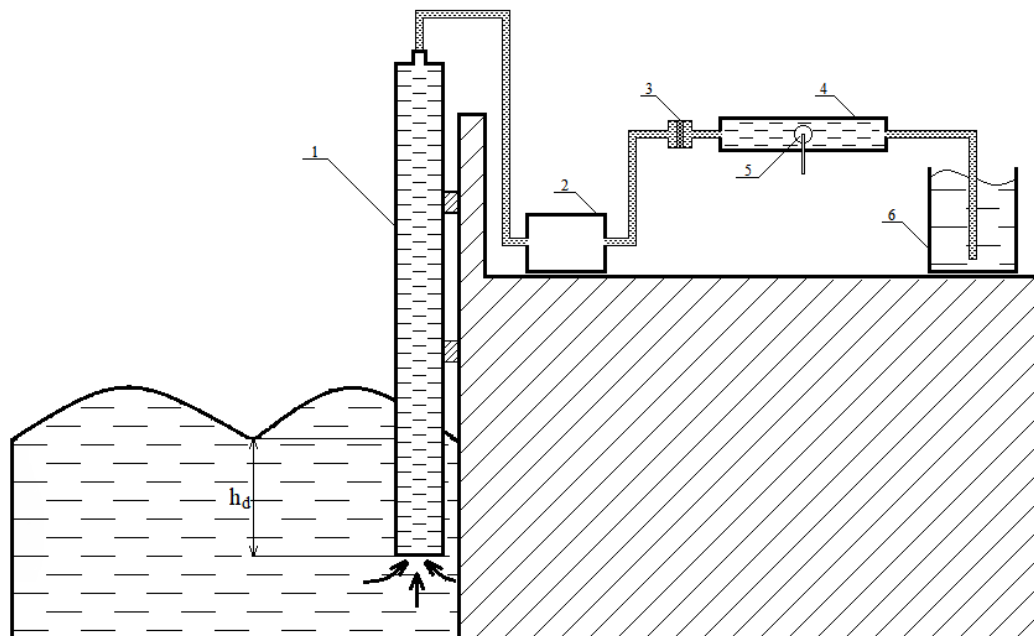


Рис. 22. Проточная система. 1 – труба; 2 – насос; 3 - грубый фильтр; 4 – труба отбора воды; 5 – штуцер для отбора воды; 6 – переливочный бак; h_d – глубина погружения трубы

Вода отбиралась с глубины 1,5...3 м, так как корабль испытывал качку. Труба – 1 крепилась к корпусу корабля и погружалась в море на глубину h_d . Вода из поверхностного слоя закачивалась через трубу – 1 насосом – 2. Далее вода прокачивалась через фильтр грубой очистки и поступала в трубу для отбора воды – 4. В данной трубе установлен штуцер – 5 для забора воды. Для полного заполнения водой трубы – 4 использовался переливочный бак – 6, вода из которого уже выливалась за борт.

Пробоотбор воды производился каждый час по пути следования судна при исправности проточной системы. В каждой точке, координаты которой фиксировались по GPS, производился отбор одной пробы с помощью силиконовых шлангов из штуцера. Открыв штуцер, шланг пережимался для устранения в нём воздуха и помещался на дно пластиковой бутылки объёмом 1,5 л. Бутылка заполнялась до краёв и закрывалась пробкой, исключаящей

попадание воздуха в пробу. В течение 5-ти минут после отбора проба доставлялась для измерения.

3.2.2 Методики пробоотбора воды с глубин

На гидрологических станциях для отбора воды с глубины группой гидрологов использовался зонд «SBE 911plus» с устройством для отбора проб «SBE-32» и 12-ю батометрами Нискина в защитной раме (рис.23), который опускался при помощи носовой штатной судовой гидрологической лебедки гидравлического типа со скоростью, не превышающей 0,5...1,2 м/сек



Рис.23 «SBE 911plus» с устройством для отбора проб «SBE-32» и батометрами Нискина в защитной раме

При каждом погружении на глубину гидрологический зонд «SBE 911plus» регистрировал давление, температуру, электропроводность, мутность, флуоресценцию хлорофилла и содержание растворенного кислорода в водной толще. Обмен данными между зондом и приемным устройством на борту осуществлялся в интерактивном режиме, посредством штатных токосъемных механизмов и кабель-троса, соединяющего данные устройства. Регистрируемые данные выводились на экран монитора и

анализировались научным составом. Анализ данных проводился для выделения глубин, представляющих интерес, и установления количества батометров, необходимых для отбора воды, так как батометр имеет для отбора воды объём 10 л.

Батометр представляет из себя полую трубу с клапанами на концах, которые находятся в открытом состоянии, свободно пропуская столб жидкости при погружении и подъёме с глубины. Закрытие клапанов на нужной глубине производится при помощи сигнала, подаваемого по опускаемому тросу. Сигнал приводит в действия механизмы батометров. Надежному закрытию клапанов прибора способствует латексная тяга, соединяющая оба клапана. Все внутренние части батометра выполнены из инертных пластиков, не оказывающие никакого влияние на содержащуюся в нём пробу. Колба прибора изготавливается из бесшовной ПВХ трубы, выдерживающей высокие давления. Механизм и каркас батометра выполнены из нержавеющей стали.

Пробоотбор воды на станциях с помощью батометров проводился с трёх горизонтов: поверхностный слой, придонный слой, слой термо- и галоклинного скачка (галоклинный скачок – резкое изменение солёности в слое воды от глубины). Однако розетка с гидрологическим зондом и открытыми батометрами никогда не опускалась до самого дна, глубина которого определялась. Для наших измерений с каждого горизонта было выделено по 6 л воды. Отбор воды с батометров проводился по аналогии с пробоотбором из проточной системы в 4 бутылки по 1,5 л. Таким образом в лабораторию в среднем доставлялось 12 проб (по 4 пробы с каждого горизонта) объёмом 18 л. Пробы складировались в тёмные сухие ящики и последовательно измерялись. Отбор проб из проточной системы при этом прекращался, а прибор использовался для измерений проб со станций. Координаты, время, глубины с которых были отобраны пробы и данные гидрологического зонда фиксировались на каждой станции в журнал и файлы программы, поставляемой с зондом.

Помимо пробоотбора воды на станциях производился отбор воды и донных осадков с помощью бокскорера (рис.24).



Рис.20 Бокскорер с размером ножа 50x50x50 см

Бокскорер предназначен для отбора донных осадков в одной точке. Проба берётся в специальный короб, который вдавливается в грунт и плотно закрывается с двух сторон. Его главная особенность в том, что он может взять почти ненарушенный слой осадков (рис.25).



Рис.25 Ненарушенный слой осадков

Однако, имеется возможность нарушения верхнего тонкого слоя вода-грунт при поднятии за счет движения воды в коробе, так как он имеет

довольно большую площадь. Глубина проникновения и соответственно высота взятой пробы определяется высотой короба и свойствами грунта.

В 2018 году используемый группой литологии боксорер имел площадь отбора донных осадков 0,25 м² и высоту 0,5 м, но не имел возможности пробоотбора донной воды. Связано это с повреждением механизма боксорера, поэтому вода сливалась при раскрытии ножа. В 2019 году использовался новый боксорер с теми же характеристиками, но исправным механизмом.

Пробоотбор донных осадков из боксорера производился с помощью лопаты. Лопатой, сохраняя структуру слоя, вырезался участок 10x10 см, который помещался в пластиковый контейнер и герметизировался. Отбор воды проводился по аналогии с пробоотбором из проточной системы и на гидрологических станциях.

3.2.2 Методика измерения ОА радона и торона в воде

Для радиометрического анализа отобранных проб воды использовалась методика RadSodaBottleKit(3DPrintedAeratorCap) [27]. Схема измерений представлена на рис. 26.

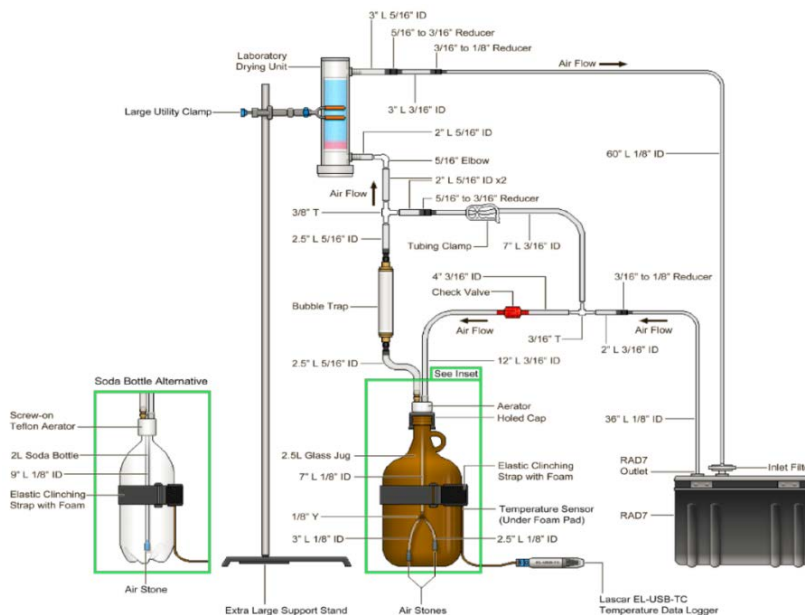


Рис.26 Система RadSodaBottleKit для радиометра RAD7

Использованная методика заключается в дегазации воды, находящейся в ёмкости, с помощью барботёра. Скорость прокачки воздуха выбирается исходя из размера и количества пузырьков, барботирующих воду. Количество пузырьков должно быть достаточно большим, а их размер достаточно малым относительно объема используемой ёмкости для наилучшей дегазации радона и торона.

Эмпирическим методом с помощью расходомера было установлено, что необходимая скорость прокачки, удовлетворяющая вышеописанным условиям для ёмкости объёмом 1,5 л, составляет 0,3 л/мин.

Воздух, выносящий вместе с собой из воды радон и торон, откачивается с помощью вакуумного насоса. Далее, проходя через осушитель и нейлоновый мембранный фильтр, установленный для задержки крупных частиц (более 0,45 мкм), воздух попадает в измерительную камеру RAD7.

Затем воздух выходит из камеры и проходит через обратный клапан, попадая в ёмкость с барботёром, замыкая систему [27].

Измерения проб воды проводились в следующем режиме. Была выбрана максимальная чувствительность SNIFF, способная фиксировать активность в $0,0067 \text{ Бк/м}^3$, так же включена настройка THORON для регистрации торона в отобранных пробах. Время цикла (время на одно измерение) установлено в 10 минут. Количество измерений на одну пробу – 5.

Во время и по окончании измерения радиометром производился подсчёт объёмной активности радона и торона в воде. Полученные результаты запоминались во внутренней памяти радиометра и выводились, сохранялись через программу CAPTURE на персональном компьютере.

После измерения 4 проб проводилась очистка внутреннего пространства измерительной камеры прибора с помощью прокачки воздуха через активированный уголь. Активированный уголь способен задержать на себе до 99,8% радона и торона. Система для очистки камеры составляла из себя осушитель, активированный уголь и сам прибор. Прокачка воздуха проводилась в течение 2-5 минут, в зависимости от значений ОА радона и торона, фиксируемой прибором. После очистки камеры проводилось фоновое измерение ОА радона и торона, которое всегда составляло 0 Бк/м^3 .

Кроме очистки измерительной камеры прибора при необходимости производилась замена осушителя в зависимости от его влажности. Влажность осушителя отслеживалась с помощью его цвета, который указывает на содержание воды: от сине-голубого (сухой) до розового (мокрый).

4. Результаты измерений ОА радона и торона

4.1 Результаты измерений ОА радона и торона в 2018 году

Анализ результатов радиометрических измерений показал, что наибольшая концентрация радона в пробах воды, отобранных из проточной системы, содержится в водах Карского моря, в районах влияния рек Обь и Енисей. Влияние речного стока определялось исходя из солёности отобранных проб. Среднее значение объёмной активности радона в данных пробах составляет 76 Бк/м^3 , а максимальное значение достигает $147,5 \text{ Бк/м}^3$ в районе Обской губы. Таким образом, максимальные концентрации радона были приурочены к Обским водам, в то время как концентрации радона в пробах, отобранных в районе Енисейского залива, были значимо меньше. Возле Пясинского залива, получающего сток реки Пясины, также были зафиксированы повышенные концентрации радона, впрочем, не превышающие значения Обской губы. Проведенные измерения показали, что средние значения объёмной активности радона в водах Карского моря составляют $17,7 \text{ Бк/м}^3$, что в 4 раза меньше, чем средние значения, зафиксированные в районе Обской губы.

Средние значения объёмной активности радона море Лаптевых составляют $9,3 \text{ Бк/м}^3$, что меньше концентрации радона в Карском море почти в 2 раза. Максимальное значение достигает $147,1 \text{ Бк/м}^3$

Наибольшие концентрации торона в пробах воды, отобранных из проточной системы, были отмечены в районе дельты реки Лены в море Лаптевых. Среднее значение объёмной активности торона составляет $5,4 \text{ Бк/м}^3$, а максимальное $294,1 \text{ Бк/м}^3$. В Карском море среднее значение составляет $3,5 \text{ Бк/м}^3$, а максимальное значение достигает $147,5 \text{ Бк/м}^3$.

В пробах воды, отобранных на гидрологических станциях, наибольшие значения максимальной и средней объёмной активности радона и торона были обнаружены на станции 6005 в придонном слое на глубине 14,4 м. Максимальное значение объёмной активности радона составило $36,8 \text{ Бк/м}^3$

при среднем значении 84,9 Бк/м³. Максимальное значение объёмной активности торона достигло 442 Бк/м³ при среднем значении 51,6 Бк/м³.

Отметим, что концентрация радона в поверхностном слое у дельты реки Лена была меньше концентраций в море Лаптевых. Этот эффект может быть вызван как накоплением торона в результате осаждения терригенной взвеси, выносимой рекой Лена, так и влиянием выхода грунтовых вод в море в этом районе.

Наименьшие значения радона и торона, не превышавшие нижней границы диапазона измерений радиометра 4 Бк Бк/м³, были получены на северных гидрологических станциях моря Лаптевых АМК 6053(27), 6058(61), 6064(45,48).

Математическая обработка результатов измерения ОА радона и торона в поверхностных водах проводилась с помощью пакета для статистического анализа Statistica. В программе была произведена проверка гипотезы о виде распределения.

Проверка различных гипотез с помощью критерия Пирсона показала, что для Карского моря и моря Лаптевых частота значений ОА радона и торона соответствуют дискретным распределениям случайных величин. Это означает, что при проведении независимых друг от друга экспериментов, на них оказывается влияние определённых случайно возникающих событий.

Математическая обработка значений ОА радона и торона Карского моря выявила геометрическое распределение частот (рис. 27, рис.28).



Рис. 27 Геометрическое распределение частот ОА радона в Карском море в 2018

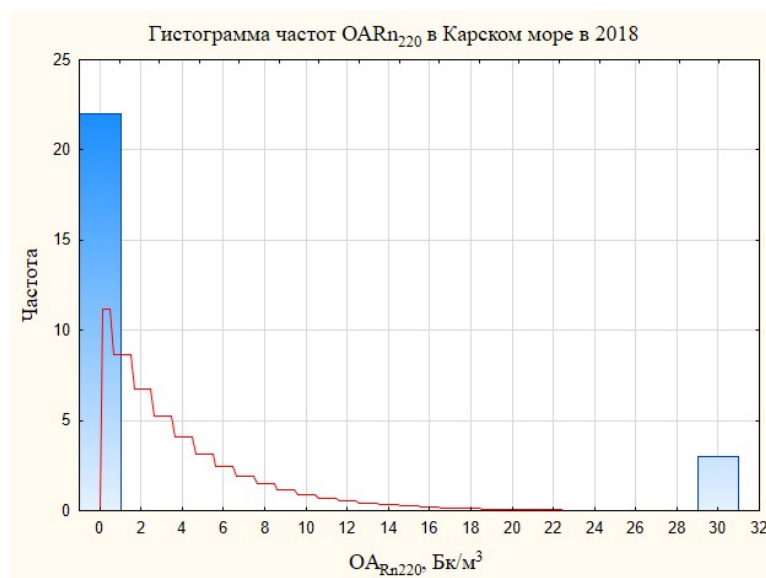


Рис. 28 Геометрическое распределение частот ОА торона в Карском море в 2018

Геометрическое распределение показывает меру неопределённости полученных результатов, которые зависят от нескольких определённых случайно возникающих событий. К таким событиям можно отнести влияние стока речных вод в море и перемешивание водных масс под действием ветра и волн.

При математической обработке значений ОА радона в море Лаптевых было выявлено биномиальное распределение частот (рис. 29).



Рис. 29 Биноминальное распределение частот OA радона в море Лаптевых в 2018

Биноминальное распределение показывает, что на полученные результаты воздействуют одно случайно возникающее событие. Так как большинство проб в море Лаптевых были отобраны вблизи дельты реки Лены, к такому событию можно отнести влияние стока речных вод в море.

Результаты значений OA торона в море Лаптевых описываются геометрическим распределением (рис.30).

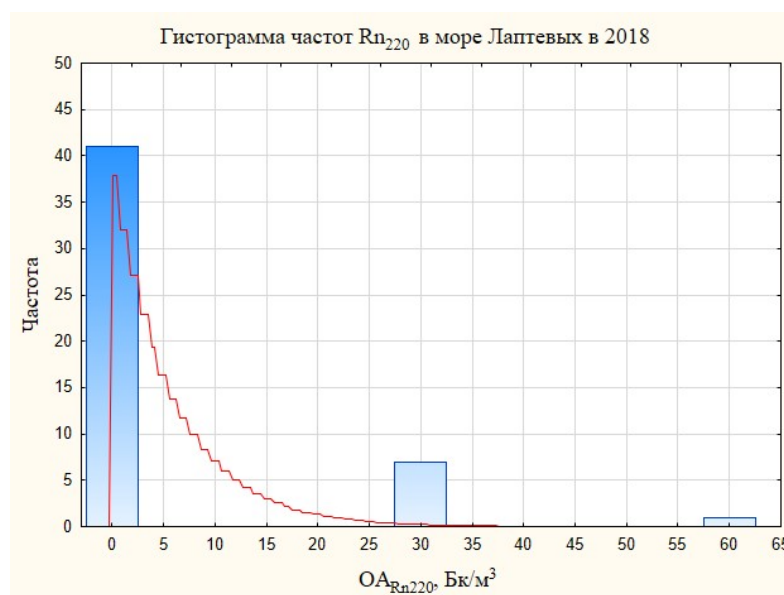


Рис. 30 Геометрическое распределение частот OA торона в море Лаптевых в 2018

На полученные результаты влияет как сток речных вод в море, так и неравномерное распределение терригенной взвеси, содержащий в себе торий.

При обработке результатов измерения ОА радона и торона в пробах воды, отобранных с разных глубин на гидрологических станциях, были построены графики зависимости ОА от глубины, которые представлены в прил. Б. Выявленные зависимости показывают тенденцию к увеличению ОА радона в зависимости от глубины. Это свидетельствует о том, что радон выделяется из донных отложений. Для торона каких-либо закономерностей выявить не удалось, что объясняется сравнительно низким содержанием этого радионуклида в воде.

4.2 Результаты измерений ОА радона и торона в 2019 году

Анализ результатов радиометрических измерений показал, что наибольшая концентрация радона в Белом море в пробах воды, отобранных из проточной системы, содержится в Двинской губе, попадающей под влияние реки Северная Двина и составляет $10,6 \text{ Бк/м}^3$. Влияние речного стока, как и в 2018 году, определялось по показаниям температуры и солёности гидрологического зонда. Среднее значение объёмной активности радона в пробах Белого моря составило $4,5 \text{ Бк/м}^3$, что является максимальным по всем исследуемым морям в 2019 году. Наибольшая концентрация торона 7 Бк/м^3 была зафиксирована в районе Горла, вблизи Кольского п-ва, берег которого содержит граниты, кварциты и песчаники, содержащие природный торий. Среднее значение объёмной активности торона в пробах Белого моря составило $1,1 \text{ Бк/м}^3$, что является минимальным по всем исследуемым морям.

В Баренцевом море наибольшие значения ОА радона и торона были зафиксированы в районе Чёшской губы и острова Колгуева, которые составили $10,5 \text{ Бк/м}^3$ и 14 Бк/м^3 . Средние значения по морю составляют 2 Бк/м^3 и $2,4 \text{ Бк/м}^3$ соответственно.

В Карском море максимальные фиксируемые значения ОА радона и торона соответствовали акваториям, подверженным влиянию стока речных вод. Так максимальная концентрация радона была зафиксирована в районе

Обской губы и составляет 13,9 Бк/м³, а торона в районе Енисея 14,3 Бк/м³. Так же повышенные относительно средних значений ОА радона 1,9 Бк/м³ и торона 1,7 Бк/м³ по морю наблюдались в районе реки Пясина и в проливе Вилькицкого.

В море Лаптевых наибольшие значения ОА радона 7 Бк/м³ и торона 14 Бк/м³ были зафиксированы в районе дельты реки Лены, данный район подвержен как массивному влиянию стока речных вод, так и разнесу терригенной взвеси, влияющий на показания по торону. Средние же значения концентрации радона и торона в море Лаптевых составляют 1,3 Бк/м³ и 2,5 Бк/м³. Данные средние значения концентраций по радону и торону являются минимальным и максимальным соответственно по всем исследуемым морям.

В Восточно-Сибирском море максимальное значение концентрации радона 7,2 Бк/м³ зафиксировано в районе острова Беннетта, геологическое строение верхней части дна которого обусловлено песчаниками и алевролитами. Максимальное значение концентрации торона 7,1 Бк/м³ было зафиксировано в проливе Дмитрия Лаптева, в котором гидрологической группой была зафиксирована пониженная солёность, а серый цвет воды указывал на повышенное содержание взвеси. Средние значения ОА радона и торона по Восточно-Сибирскому морю составили 1,7 Бк/м³ и 1,6 Бк/м³ соответственно.

Для результатов проб воды, отобранных с глубин на гидрологических станциях, была сделана статистическая обработка. Были построены графики зависимости ОА от глубины, которые представлены в прил. В. Выявленные при статистической обработке зависимости показывают тенденцию к увеличению ОА радона в зависимости от глубины.

Математическая обработка результатов измерения ОА радона и торона в поверхностных водах проводилась аналогично тому, как было рассмотрено в пункте 4.1.

Проверка различных гипотез с помощью критерия Пирсона показала, что для всех исследуемых в 2019 году морей соответствует дискретное распределение частот значений ОА радона и торона. Это означает, что при

проведении независимых друг от друга экспериментов, на них оказывается влияние определённых случайно возникающих событий.

Для всех морей частота значений ОА радона и торона, кроме радона в Белом море, соответствует геометрическому распределению (прил. Г). Оно показывает меру неопределённости полученных результатов, зависящие от нескольких определённых случайно возникающих событий. К таким событиям можно отнести влияние стока речных вод в море и перемешивание водных масс под действием ветра и волн.

В Белом море частота значений ОА радона описывается биномиальным распределением (рис.31)

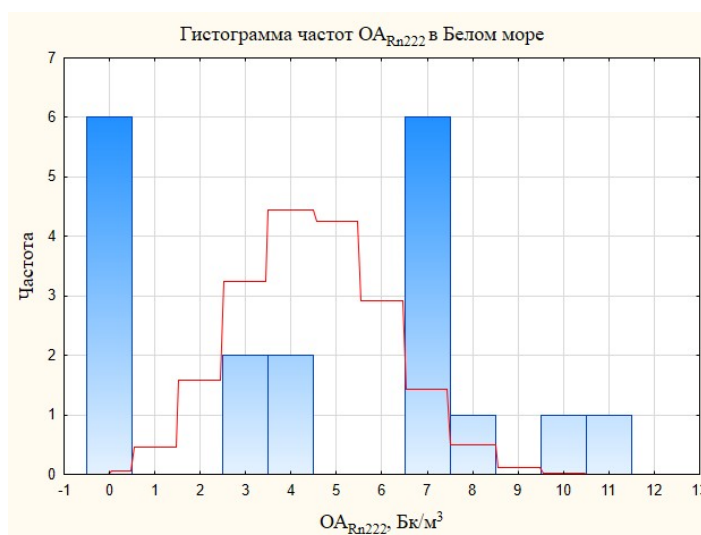


Рис. 31 Биномиальное распределение частот ОА радона в Белом море в 2019

Биномиальное распределение показывает, что на полученные результаты воздействуют одно случайно возникающее событие. Так как Белое море находится под непосредственным влиянием Северной Двины, к такому событию можно отнести влияние стока речных вод в море.

4.3 Сравнительный анализ результатов 2018 и 2019 годов

Из анализа результатов 2018 и 2019 годов следует, что средние значения ОА радона и торона в поверхностных водах и в воде, отобранной на разных глубинах, отличаются на порядок. Такое различие может быть объяснено с изменившейся ледовой ситуацией в 2019 году. Аномально тёплая

погода сдвинула ледовую границу и растопила большую массу льда. Таким образом, водные массы Арктики были разбавлены радиоактивно чистой водой.

Отметим, что измеренные в поверхностных водах значения ОА радона и торона в 2018 и 2019 годах описываются дискретными распределениями. Для всех морей частота значений ОА радона и торона, кроме радона в Белом море и в море Лаптевых, соответствуют геометрическому распределению. Данное распределение показывает меру неопределённости полученных результатов, зависящих от нескольких событий, характеризующихся определённой вероятностью возникновения. К таким событиям можно отнести влияние стока речных вод в море и перемешивание водных масс под действием ветра и волн.

Анализ результатов, полученных в акваториях, подверженных влиянию рек, показывает, что сток речных вод приводит к увеличению содержания радона (Обь, Енисей...) или торона (Лена). Таким образом, измерения данных радионуклидов может быть использовано для оценки речного стока в море.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной магистерской диссертации – исследование объёмной активности радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе работы конкурирующих исследований на шельфе морей Российского сегмента Арктики обнаружено не было. Однако существуют схожие исследования в акваториях Аляски и Балтийского моря, которые были рассмотрены в качестве конкурирующих:

1) Исследование взаимодействия грунтовых вод с сезонным льдом на озёрах Аляски;

2) Выход грунтовых вод на шельфе Балтийского моря в районе Салпаусселькя.

Детальный анализ необходим, т.к. каждое исследование имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 4 показано сравнение исследований-конкурентов и данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособности		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Актуальность исследования	0,2	5	5	5	1	1	1
2. Эффективность работы	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
3. Достоверность результатов	0,15	3	3	3	0,45	0,45	0,45
4. Оборудование	0,1	3	2	4	0,3	0,2	0,4
5. Простота исследования	0,05	3	5	3	0,15	0,25	0,15
6. Безопасность	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена исследований	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
2. Предполагаемое влияние исследований	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
3. Финансирование научных исследований	0,1	2	5	4	0,2	0,5	0,4
Итого	1	33	33	35	3,85	3,65	3,95

Расчет конкурентоспособности, на примере актуальности исследования, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 5 = 1,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

5.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны исследования и выявленные возможности и угрозы для реализации исследования, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Новые данные о шельфе Российского сегмента Арктики.	Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.
С2. Радиоэкологическая разведка акваторий.	Сл2. Малая статистика и выборка результатов.
С3. Результаты, которые были использованы для океанологических исследований.	Сл3. Высокие требования к измерительному оборудованию.
С4. Масштабность и важность исследований.	Сл4. Измерения имеют большие погрешности и неопределенности.
С5. Квалифицированный персонал.	Сл5. Возможные шторма и непогода.
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ИШПР ТПУ и ИОРАН.	У1. Вероятность отмены экспедиции.
В2. Появление потенциального спроса на продолжение исследований.	У2. Прекращение финансирования.

В3. Публикации исследования в научные журналы.	
В4. Привлечение студентов к научным исследованиям.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 6–8.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	-	-	-	-
	В2	+	+	+	+	-
	В3	+	-	+	+	-
	В4	-	-	-	+	+

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	-	-	+	+	-
	В2	-	+	-	-	-
	В3	+	-	-	-	-
	В4	-	-	-	-	-

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	-	-	+	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	-	+
	У2	-	-	+	-	-

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 9.

Таблица 9 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Новые данные о шельфе Российского сегмента Арктики.</p> <p>С2. Радиоэкологическая разведка акваторий.</p> <p>С3. Результаты, которые были использованы для океанологических исследований.</p> <p>С4. Масштабность и важность исследований.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл2. Малая статистика и выборка результатов.</p> <p>Сл3. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл4. Измерения имеют большие погрешности и неопределенности.</p> <p>Сл5. Вероятность штормов и непогоды.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование оборудования ИШПР ТПУ и ИОРАН.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на продолжение исследований.</p> <p>В3. Публикации исследования в</p>	<p>Направления развития</p> <p>В2С1С2С3С4. Новые данные о шельфе Российского сегмента Арктики позволяют привлечь внимание Министерства образования и науки, радиоэкологическая разведка акваторий и масштабность (охват) исследований позволяют вовлечь экологические организации и новых</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл3Сл4. Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и предотвратить появление неопределенности.</p>

<p>научные журналы. В4. Привлечение студентов к научным исследованиям.</p>	<p>людей для дальнейших исследований. В3С1С3С4. Совершенно новые данные и результаты, аналогов которых нет, дают возможность для написания статей в индексируемые журналы. В4С4С5. Работа более чем в 5-ти морях за полярным кругом с высококвалифицированными сотрудниками и передовыми Российскими учёными создают крепкую школу для студентов.</p>	<p>В2Сл2. Увеличение количества экспедиций позволит набрать статистику для установления динамики изменения полученных результатов. В3Сл1. Публикации новых статей на основе полученных результатов заполнит отсутствие материалов по соответствующим научным исследованиям для данных акваторий.</p>
<p>Угрозы У1. Вероятность отмены экспедиции. У2. Прекращение финансирования.</p>	<p>Угрозы развития У1С4. Несмотря на вероятность отмены экспедиции в связи с пандемией, масштаб и важность исследований возобновят экспедицию при первой же возможности. У2С3. Даже при прекращении финансирования больших экспедиций, полученные результаты необходимы для океанологов, что подтолкнёт для организации большого количества малых и локальных экспедиций.</p>	<p>Уязвимости: У1Сл5. Никто не в силах повлиять на погоду и возникновения шторма, в который невозможно проводить какие-либо работы и измерения из-за качки. У2Сл3. Без покупки нового высокоточного измерительного оборудования никак не обойтись, несмотря на его внушительную стоимость. От оборудования зависит достоверность получаемых результатов.</p>

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемой технологии преобладают над её недостатками. Данные

недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Инженер
	4	Выбор методов исследования	Инженер

Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Инженер, научный руководитель
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Инженер
	7	Проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	10	Составление пояснительной записки	Инженер

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (5.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом

учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ки.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5.3)$$

где $T_{ки}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (5.4)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожс}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	3	3	4	2,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18

9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составлени е пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	11
Итого:	7	59	15	84	13, 5	69, 5	70	102

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 12).

Таблица 12 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T кi кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	█													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	4	█													
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		█												
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			█											
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			█											
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				█										
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					█									
8	Обработка полученных данных	Исп2	18								█						
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5										█				
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13												█		

Примечание: █ – Исп. 1 (научный руководитель), █ – Исп. 2 (инженер)

5.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

5.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты — это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Данная часть включает затрату на все материалы, используемые для измерения пробы и обработки результатов. Результаты расчета затрат представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Затраты на материалы для измерения и обработки результатов образца

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	шт.	4	340	1200
Осушитель	кг	2,3	1950	4485
Картридж для лазерного принтера	шт.	1	3 490	3 490
Перчатки резиновые, технические	пар	10	12	120
Итого:				9295

5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни по данной теме.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (5.5)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (5.6)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 14 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед.	Срок полезного	Время использования, я,	$H_A, \%$	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Радиометр RAD7	1	10	1,5	10	2550000	31875
2	Насос ADS-3R	1	10	1,5	10	525000	6563
3	ПЭВМ	2	3	2	33	120000	6600
Итого:						45038 руб.	

5.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей

темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (5.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_o – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{86999 \cdot 10,3}{246} = 3642,6 \text{ руб.}, \quad (4.9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (5.10)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) k_p = 44615 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 86999 \text{ руб.} \quad (5.11)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_o – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 15 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	48/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	246

Таблица 16– Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	k_o	k_p	$Z_{м}, руб$	$Z_{он}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	44615	0,3	0,2	1,3	86999	3642,6	70	254982
Итого:								283970

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.} \quad (5.12)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 254982 = 38241 \text{ руб.} \quad (5.13)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

5.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (28988,6 + 4348,3) = 10001,1 \text{ руб.} \quad (5.14)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (254982 + 38241) = 87954,3 \text{ руб.}, \quad (5.15)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

5.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 17 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
45038	9295	283929	42589,3	97955,4	478806,7

Величина накладных расходов определяется по формуле (5.16):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

5.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ. На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Результаты измерений радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики» по форме, приведенной в таблице 18. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 18 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	9295	25466	51500	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	45038	101258	184321	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	283929	619000	1250752	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	42589,3	0	0	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	97955,4	185700	450270,7	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	95761,3	186284,8	387368,7	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		574568	1117708,8	2324212,4	Сумма ст. 1- 6

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

5.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший

интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

- 1) Исследование взаимодействия грунтовых вод с сезонным льдом на озёрах Аляски;
- 2) Выход грунтовых вод на шельфе Балтийского моря в районе Салпаусселькя.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.17)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 574568$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 1117708,8$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 2324212,4$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{макс}}} = \frac{574568}{2324212,4} = 0,25;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{макс}}} = \frac{1117708,8}{2324212,4} = 0,48;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.1}}}{\Phi_{\text{макс}}} = \frac{2324212,4}{2324212,4} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с большим перевесом (почти в 2 раза) считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

5.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов

выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 19).

Таблица 19 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Актуальность исследования	0,3	5	5	5
2. Эффективность работы	0,2	5	2	3
3. Достоверность результатов	0,2	3	3	3
4. Безопасность	0,15	4	3	4
5. Предполагаемое влияние исследований	0,15	5	3	4
ИТОГО	1	4,45	3,4	3,9

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,45$$

$$I_{p2} = 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 = 3,4$$

$$I_{p3} = 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,9$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} \quad (5.18)$$

$$I_{\text{тек.пр}} = \frac{4,45}{0,25} = 17,8, \quad I_{\text{исп.2}} = \frac{3,4}{0,48} = 7,08, \quad I_{\text{исп.3}} = \frac{3,9}{1} = 3,9$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,25	0,48	1

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,4	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	17,8	7,08	3,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,4	0,22

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 99 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 574568 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,25, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 3,4 и 3,9;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 17,8, по сравнению с 7,08 и 3,9, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

6. Социальная ответственность

Целью исследования являются результаты измерений радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики.

Согласно заданию, был произведён пробоотбор образцов воды на шельфе морей Российского сегмента Арктики, затем проведены измерения объёмной активности радона и торона в отобранных образцах. Полученные данные измерений математически обработаны на ЭВМ, построены карты, гистограммы и графики, проведён анализ полученных результатов. Для выполнения работы использовались: «проточная» система, бокскорер и батометры для пробоотбора воды; радиометр *RAD7* для измерения ОА радона и торона в воде; компьютерный стол с ЭВМ и соответствующее периферийное оборудование (компьютерная клавиатура, мышь и т. д.) в качестве рабочего места; программное обеспечения (MS Word, MS Excel, MS Paint, *CAPTURE*, *Surfer 2016* и *Ststistica*). Полученные результаты являются неотъемлемой частью программы исследования шельфа морей Российского сегмента Арктики и входят в отчёты о проделанной работе в ходе Арктических экспедиций «Министерства науки и высшего образования российской федерации».

В разделе будут рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс изыскания нового алгоритма группой экспериментаторов, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [28]. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация

профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства. Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место при работе с ПК должно составлять не менее чем 6 кв. м [30]. Измерения ОА радона и торона производились в кормовой лаборатории на НИС "Академик Мстислав Келдыш" общей площадью 9 кв. м. В смене находился один сотрудник, использовавший радиометр *RAD7* и ЭВМ, что допускает использование любых дискретных экранов ПК (в данном случае был использован ноутбук с плоским экраном). Пространство для ног должно соответствовать следующим параметрам: высота пространства для ног не менее 600 мм, расстояние сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150мм, а высота сиденья 420 мм [31]. Стоит заметить, что высота стола должна зависеть от роста сотрудника, однако, это не учтено в данном помещении (все столы одинаковой высоты).

Так же предусмотрены следующие требования к организации рабочего места пользователя ПЭВМ: конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию [30]. В данном случае кресло не соответствовало нормам, так как в этом помещении размещены обычные стулья, без регулировки по высоте.

6.2. Производственная безопасность

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследований

В ходе выполнения магистерской диссертации проводились измерения ОА радона и торона воды, отобранной из холодных и солёных морей в условиях шквального ветра и «северного» солнца. Можно сделать вывод, что сам объект исследования может создать вредные и опасные факторы.

6.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Согласно номенклатуре, опасные и вредные факторы по ГОСТ 12.0.003-2015 делятся на следующие группы: физические; химические; психофизиологические; биологические. Перечень опасных и вредных факторов, влияющих на персонал в заданных условиях деятельности, представлен в табл.21.

Таблица 21 – основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-2015		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Пробоотбор воды на палубе корабля в море; измерение объёмной активности радона и торона в воде; обработка данных на ПК в кормовой лаборатории и дома.	Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	–	Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
	Повышенный уровень электромагнитных излучений	–	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	Отклонение показателей микроклимата	–	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
	Превышение уровня шума	–	СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих

			местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
	Недостаточная освещенность рабочей зоны	–	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
	Психофизиологические нагрузки		?!
	–	Электрически й ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность

Эти факторы могут влиять на состояние здоровья, привести к травмоопасной или аварийной ситуации, поэтому следует установить эффективный контроль за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

При проведении работ, связанных с теоретическим исследованием, важную роль играет планировка рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени инженера.

Основным документом, определяющим условия труда на персональных ЭВМ, являются «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Санитарные нормы и правила СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, которые были введены 30 июня 2003 года. В Правилах указаны основные требования к помещениям, микроклимату, шуму и вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Основным опасным фактором является опасность поражения электрическим током. Исходя из анализа состояния помещения, рабочее место инженера, занимающегося теоретическими исследованиями, по степени опасности поражения электрическим током можно отнести к классу помещений без повышенной опасности, согласно ПУЭ.

6.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

6.2.3.1 Радиационная безопасность

Главная цель радиационной безопасности – охрана здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.

Главным документом по радиационной безопасности при организации работ с источниками ионизирующих излучений является «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений».

В ходе работы были проведены измерения объемной активности радона и торона в воде. Содержащиеся в воде газы радон и торон являются источниками ионизирующего излучения.

Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить торможение функции кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение сопротивляемости организма инфекционным

заболеваниям и др. Необходимо применять защитные меры, которые должны предотвращать радиоактивное загрязнение воздуха.

Существуют допустимые уровни доз, которые может получить человек. Уровни разделяются в соответствии с категорией по нормам радиационной безопасности.

Персонал (группа А) – лица, работающие с техногенными источниками, ионизирующими излучением, или находящиеся по условиям работы в сфере их воздействия (группа Б). Население – все лица, включая персонал вне работы. Пределы допустимых доз для персонала группы А и населения приведены в табл. 22.

Таблица 22 – Пределы допустимых доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал группы А	Население
Эквивалентная доза	20мЗв	1мЗв
Эквивалентная доза за год:		
В хрусталике	150мЗв	15мЗв
в коже	500мЗв	50мЗв
в кистях и стопах	500мЗв	50мЗв

Пределы доз и допустимые уровни для персонала группы Б равны 1/4 от группы А.

Значения проектной мощности эквивалентной дозы для стандартной продолжительности пребывания в помещениях и на территориях персонала и населения приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Мощность эквивалентной дозы используемой при проектировании защиты

Категория облучаемых лиц	Назначение помещения	Продолжительность облучения, ч/год	Проектируемая мощность дозы, мкЗв/ч
Персонал	Постоянное пребывание	700	6,0

	гр. А	Временное пребывание	850	12
	гр.Б	Помещение организации и территория С.З.З., где нах-ся. пер.гр.Б	2000	1,2
Население		Любое другое помещение и территория	8800	0,06

Для защиты от радиоактивных газов радона и торона, которые появлялись при барботаже воды, использовалась постоянная вентиляция помещения. Кроме того, использовались средства индивидуальной защиты дыхательной системы – маска «лепесток-200». Данная работа по измерению объёмной активности радона и торона в воде проводилась без превышения мощности эквивалентной дозы для персонала группы Б за счёт использования средств индивидуальной защиты.

6.2.2.2 Воздействие электромагнитного излучения

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет существенную опасность для человека, по сравнению с другими вредными факторами (повышенное зрительное напряжение, психологическая перегрузка, сохранение длительное время неизменной рабочей позы). В рассматриваемом случае источником электромагнитного излучения является компьютерная техника. Длительное воздействие интенсивных электромагнитных излучений промышленной частоты может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной системы.

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в табл. 24., в соответствии с [30].

Таблица 24 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров ВДУ		ВДУ ЭМП
Напряжённость электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

При возможном превышении ПДУ возможны следующие меры защиты: увеличение расстояния между источником ЭМИ и рабочей зоной, установка отражающих или поглощающих экранов, размещение в специальных оболочках токоведущих элементов аппаратов и устройств. Используемая в ходе исследования техника создавала ЭМП не превышающее значений допустимых уровней, поэтому вышеописанная защита не потребовалась.

6.2.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Значимым физическим фактором является микроклимат рабочей зоны (температура, влажность и скорость движения воздуха). Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха влияют на теплообмен и необходимо учитывать их комплексное воздействие. Нарушение теплообмена вызывает тепловую гипертермию, или перегрев. Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха производственных помещений для работ, производимых сидя и не требующих

систематического физического напряжения (категория Ia), приведены в табл. 25., в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 и [29].

Таблица 25 – Нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	1б (140-174 Вт)	21-23	20-24	60-40	0.1
Теплый		22-24	21-25	60-40	0.1

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию. Общеобменная вентиляция используется для обеспечения в помещениях соответствующего микроклимата. Периодически должен вестись контроль влажностью воздуха. В летнее время при высокой уличной температуре должны использоваться системы кондиционирования. Радиаторы должны устанавливаться в нишах, прикрытых деревянными или металлическими решетками. При этом температура на поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, чтобы исключить пригорание пыли [34].

На НИС «Академик Мстислав Келдыш» используется постоянная вентиляция воздуха с предварительной фильтрацией и с поддержанием температуры в 25 °С.

6.2.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источниками света могут быть как естественные, так и искусственные объекты. Естественным источником в помещении служит солнце, искусственными являются электрические лампочки. При длительной работе в условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров

световой среды зрительное восприятие снижается, развивается близорукость, болезнь глаз, появляются головные боли.

По нормативу [30] освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5%.

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева. Также как средство защиты для минимизации воздействия фактора следует установка местного освещения из-за недостаточной освещенности, оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Если помещение не соответствует вышеописанным нормам, то это влечет за собой ухудшение здоровья рабочих и как следствие ухудшение рабочего процесса.

Кормовая лаборатория корабля, где проводились измерения, полностью соответствовала вышеописанным нормам.

6.2.2.5 Повышенный уровень шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные

ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. ПДУ шума для объектов типа аудитории для теоретических разработок нормируются ГОСТ 12.1.003-2014, СанПиН 2.2.4/2.4.1340-03. Значения представлены в табл. 26 (для постоянных шумов).

Таблица 26. Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления (дБ), в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (Гц)									Уровни звука в дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

На корабле имеются шумы различного рода, которые генерируются как внутренними, так и внешними источниками шумов. В рассматриваемом случае внутренними источниками шумов являются рабочее оборудование, нагревательные котлы, подруливающее устройство корабля «AQUA MASTER». Так же к внутренним и непосредственным источникам шума относятся: персональный компьютер, принтер, вентиляционная система, а также компьютерная техника других сотрудников, находящихся в смежной с лабораторией комнате. При возможном превышении ПДУ достаточно использовать в помещении звукопоглощающие материалы (звукопоглощающая облицовка стен и потолка, оконные шторы) [32]. Для уменьшения шума, проникающего снаружи помещения, следует установить уплотнения по периметру притворов дверей и окон.

В качестве защиты от шума сотрудниками были использованы личные наушники и амбушюры, от вибрации же защититься возможным не представлялось из-за вибрации всего корабля, несмотря на звуко и вибро поглощающие материалы.

6.2.2.6 Психофизиологические факторы

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных

процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03).

Для уменьшения физических нагрузок организма во время работы рекомендуется использовать специальную мебель с возможностью регулировки под конкретные антропометрические данные, например, эргономичное кресло.

У сотрудников имелась возможность отдыхать во время проведения измерений в течение 40 минут в отдельном помещении судна, в котором расположен мягкий диван, чайник и кухонная посуда. Работа проводилась посменно, поэтому влияние психофизиологических факторов было сведено к минимуму. Единственное, что сильно повлияло на состояние сотрудников – бортовая качка, к которой они привыкли в ходе экспедиции.

6.2.2.7 Поражение электрическим током

Знание допустимых для человека значений тока и напряжения позволяет правильно оценить опасность поражения и определить требования к защитным мерам от поражения электрическим током.

ГОСТ 12.1.038-82 устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека. Под напряжением прикосновения понимается напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Нормы предназначены для проектирования способов и средств защиты от поражения электрическим током людей при их взаимодействии с электроустановками. Они соответствуют прохождению тока через тело человека по пути рука - рука или рука - ноги.

Стандарт предусматривает нормы для электроустановок при нормальном (неаварийном) режиме их работы, а также при аварийных режимах производственных и бытовых электроустановок. Значения напряжения прикосновения и силы тока, протекающего через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме работы электроустановки, не должны превышать значений, приведенных в табл. 27

Таблица 27. Предельно допустимые значения напряжения соприкосновения и силы тока

Род и частота тока Наибольшие допустимые значение	Род и частота тока Наибольшие допустимые значение	Род и частота тока Наибольшие допустимые значение
	U _{пр} , В	I _h , мА
Переменный, 50 Гц	2	0,3
Переменный, 400 Гц	3	0,4
Постоянный	8	1,0

Для лиц, выполняющих работу в условиях высокой температуры и влажности (относительная влажность больше 75%), эти нормы должны быть уменьшены в три раза.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Степень опасного воздействия на человека электрического тока зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути прохождения тока через тело человека;
- продолжительности воздействия на организм человека;
- условий внешней среды.

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
- применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
- использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения (ГОСТ Р 12.1.019-2017);
- использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему не электротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь не электротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год.

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

При ведении работ соблюдались все вышеописанные меры предосторожности.

6.3 Экологическая безопасность

6.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

При выполнении магистерской диссертации было задействовано судно НИС «Академик Мстислав Келдыш», имеющее 4 двигателя, работающих на дизельном топливе. Сжигаемое в большом количестве в ходе работы двигателей топливо имеет высокое содержание серы. При горении образуется двуокись серы, оксид азота и частицы, а также монооксид углерода, диоксид

углерода и углеводороды, которые в качестве выхлопа попадают в атмосферу. Стоит отметить, что выхлоп дизельного топлива был классифицирован ЕРА как вероятный канцероген человека.

Твёрдые отходы, как и жидкие не выбрасывались во время экспедиции. Их складировали и сдавали на берегу в переработку, либо сжигали в муфельной печи. Твёрдая часть сортировалась в мусорные контейнеры, расположенные на корме корабля по виду материала: пластик; стекло; бумага и бытовые, - последнее сжигалось в муфельной печи. Жидкая часть собиралась в вакуумном контейнере и тоже сдавалась по приходу в порт.

Помимо этого, вредными отходами являются отработанные ПЭВМ, и их неправильная утилизация приводит к загрязнению окружающей среды [33].

Устаревшая техника поступает на предприятие, имеющее право на переработку компьютеров. Благодаря применяемым технологиям по очистке составляющих компонентов из компьютерной техники можно выделить драгоценные металлы с чистотой в пределах 99,95–99,99 %. Замкнутый цикл производства состоит из следующих этапов: первичная сортировка оборудования; выделение драгоценных, черных и цветных металлов и других материалов; плавление; аффинаж и переработка металлов. Таким образом, происходит эффективная утилизация компьютерной техники.

6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Снижение загрязнения возможно за счёт совершенствования оборудования, производящего электроэнергию, применения более экономичных и результативных технологий, использования новых методов получения электроэнергии и внедрения современных методов и способов очистки и обезвреживания отходов производства. Кроме того, эта проблема должна решаться и за счёт эффективного и экономного использования электроэнергии самими потребителями. Это использование более экономичного оборудования, а также эффективного режима загрузки этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии.

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением.

В современных компьютерах повсеместно используются режимы с пониженным потреблением электроэнергии при длительном простое.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией при измерениях является пожар на рабочем месте. В качестве противопожарных мероприятий должны быть применены следующие меры:

- в помещении должны находиться средства тушения пожара, средства связи;
- электрическая проводка электрооборудования и осветительных приборов должна быть исправна;
- все сотрудники должны знать место нахождения средств пожаротушения и уметь ими воспользоваться, иметь средства связи и знать номера экстренных служб.

В связи с возможностью возникновения пожара разработан следующий план действий:

- в случае возникновения пожара сообщить о нем руководителю, постараться устранить очаг возгорания имеющимися силами при помощи первичных средств пожаротушения (огнетушитель порошковый, углекислотный О-1П0 (з)-АВСЕ);
- привести в действие ручной пожарный извещатель, если очаг возгорания потушить не удастся;
- сообщить о возгорании в службу пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить адрес, место и причину возникновения пожара;
- принять меры по эвакуации людей и материальных ценностей;

- встретить пожарную охрану, при необходимости сообщить всю необходимую информацию и оказать помощь при выборе наилучшего подхода к очагу возгорания.

Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация и средства связи.

Выводы по разделу «социальная ответственность»

В ходе выполнения работы над разделом «Социальная ответственность» были выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться человек при измерениях ОА радона и торона на шельфе морей Российского сегмента Арктики. Был проведен анализ нормативной документации.

В целом, рабочее место удовлетворяет требованиям безопасности. Выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма.

Освещение на рабочем месте соответствует нормам – используется несколько энергосберегающих ламп.

Уровни шума находятся в допустимых пределах – внутренними источниками шумов являются рабочее оборудование, нагревательные котлы, подруливающее устройство корабля «AQUA MASTER». Так же к внутренним и непосредственным источникам шума относятся: персональный компьютер, принтер, вентиляционная система, а также компьютерная техника других сотрудников, находящихся в смежной с лабораторией комнатой.

Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования.

Защита от повреждений электроники статическим электричеством не обеспечивается, однако так как корпус ПК закрыт, вероятность поражения элементов или работника минимальна (если не прикасаться мокрыми руками к корпусу).

Во время работы делаются перерывы для снижения нагрузки и предотвращения нервно-психических перегрузок.

Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности.

В случае выхода из строя используемой электроники или ламп, отходы передаются в соответствующие компании.

Рабочее помещение оборудовано в соответствии с требованиями пожарной безопасности. Имеется порошковый огнетушитель, а также пожарная сигнализация.

Заключение

В ходе выполнения работы изучен принцип действия и устройство радиометра RAD7; изучены и освоены методики пробоотбора поверхностных вод и вод с разных глубин; изучены и освоены методики измерения ОА радона и торона в воде с помощью радиометра RAD7; изучена методика проведения калибровки радиометра RAD7 по эталонному источнику Rn-220; отобрано 533 пробы поверхностных вод из проточной системы, 8 проб и боксскорера и 590 проб на гидрологических станциях на разных глубинах; измерена ОА радона и торона в отобранных пробах воды с помощью радиометра RAD7; проведена обработка и анализ результатов измерений.

На основе проведённых исследований сделаны следующие выводы:

- Из-за активного таяния льда ОА активность радона и торона, измеренная в 2019 году, на порядок меньше значений ОА, полученных в 2018 году.
- Распределение частот для результатов измерения ОА радона и торона в поверхностных водах подчиняется дискретным законам распределения.
- ОА радона и торона в пробах воды, отобранных в дельтах рек, в среднем в 2 больше чем в пробах воды, отобранных вне зоны влияния рек.
- ОА радона имеет тенденцию к увеличению с ростом глубины. Общей закономерности изменения ОА торона с глубиной выявить не удалось.
- Радон и торон являются удобными трассерами для изучения динамики процессов, происходящих в акваториях Российского сегмента Арктики.

Список используемой литературы:

1. Киселев, С. М. Радон: от фундаментальных исследований к практике регулирования / С. М. Киселев, М. В. Жуковский, И. П. Стамат и др. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России», 2016. – 432 с.
2. Crawford, D. J. Radiological characteristics of ^{219}Rn / D. J. Crawford // Health Phys. 1980. – Vol 39, N 3. – P. 449–461.
3. ICRP, 2008 Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. – ICRP 38 (3), 2008.
4. Жуковский, М. В. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону // Публикация 115 МКРЗ. Перевод под ред. М. В. Жуковского, С. М. Киселева, А. Т. Губина. – М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России», 2013. – 92 с.
5. Жуковский, М. В. Радон: измерение дозы, оценка риска / М. В. Жуковский, И. В. Ярмошенко, – Екатеринбург: УрО РАН, 1997.
6. Андреев, А.И. Экспериментальные исследования содержания радона в воде из подземного источника / А.И. Андреев, В.В Чекунаев. – М.: Вестник ТОГУ 3(26), 2012. – стр. 123-130.
7. ICRU Report 88. Measurement and reporting of radon exposures // J. of ICRU. – 2012. –Vol. 12, № 2.
8. Zhukovsky, M. Radon measurements – discussion of error estimates for selected methods / M. Zhukovsky, A. Onischenko, V. Bastrikov // Appl. Radiat. Isot. – 2010. –Vol. 68. – P. 816–820.
9. Lucas, H. F. Improved Low-Level Alpha-Scintillation Counter for Radon / H. F. Lucas // The Review of Scientific Instruments. – 1957. – V. 28, N. 9. – P. 680 – 683.
10. Shivakumara, B. C. Studies on ^{226}Ra and ^{222}Rn concentration in drinking water of Mandya region, Karnataka State, India / B. C. Shivakumara, M. S. Chan-drashekara, E. Kavitha et al. // J. of Radiation Research and Applied Sciences. – 2014. –V.7. – P. 491–498.

11. Руководство по эксплуатации Комплекса измерительного для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс». Методика поверки (МП 49013-12). – М.: ВНИИФТРИ, 2011.
12. Perude, P.T. Radon monitoring instrumentation / P. T. Perude, H. W. Dickson, F. F. Haywood // Health Phys. – 1980. – V.39, N 1. – P.85–88.
13. Ziegelheim, C. J. Development of a continuous monitor for ^{226}Ra in water / C. J. Ziegelheim, A. Busigin, C. R. Philips // Health Phys. – 1982. – V.42, N 3. – P. 317–327.
14. Measurement and calculation of radon releases from uranium mill tailings. Technical report series N 333. International Atomic Energy Agency. – Vienna, 1992.
15. Радиометр радона портативный РРА-01М-01 Руководство по эксплуатации. БВЕК 694330.001 РЭ. – М., 2009.
16. Комплекс измерительный для мониторинга радона «КАМЕРА-01». Паспорт. НТЦ «НИТОН». – М., 2003.
17. Nikolaev, V. A. Application of the track method for radon measurement in Ukraine / V. A. Nikolaev, M. G. Buzynniy, I. B. Vorobiev et al. // Nucl. Tracks Radiat. Meas. – 1993. – V. 21, N 3. – P. 433–436.
18. Nikolaev, V. A. Track Methods of Measurements in the Environment Devel-oped in the Khlopin Radium Institute / V. A. Nikolaev // Radionuclides and Heavy Metals in Environment. – 2001. –Vol. 5 of the series NATO Science Se-ries. – P. 349–360.
19. Маренный, А. М. Диэлектрические трековые детекторы в радиационно-физическом и радиобиологическом эксперименте / А. М. Маренный. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 184 с.
20. Николаев, В. А. Твердотельные трековые детекторы в радиационных исследованиях / В. А. Николаев. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 283 с.

21. МВИ 2.6.1.003-99. «Радон. Измерение объемной активности в воздухе помещений интегральным трековым методом». Свидетельство об аттестации методики радиационного контроля № 40090.2ИЗ85. – М.,1999.

22. Жуковский, М. В. Измерение Rn-220 в атмосфере: метрология и практическая реализация / М. В. Жуковский, А. А. Екидин, А. В. Грачева и др. // АНРИ. – 2010. –№ 1 (60). – С. 37–42.

23. Daraktchieva, Z. Results of the 2011 HPA Intercomparison of Passive Radon Detectors / Z. Daraktchieva, C. B. Howarth, R. Algar. – HPA–CRCE–033. Health Protection Agency. – Chilton, 2012.

24. Онищенко, А. Д. Определение индивидуальной экспозиции по объемной активности радона при смешанном производственно-бытовом облучении / А. Д. Онищенко, М. В. Жуковский // АНРИ. –2016. – № 3.– С. 2–8.

25. Масаев, М.Б. Мониторинг радоновых всплесков методом гамма-спектрометрии аэрозольных фильтров / М.Б. Масаев, Савойский Ю.В. и др. // Режим доступа: https://mkgtu.ru/docs/KONF_SEM/hokonov_2.pdf.

26. Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ – Ядерная физика в Интернете – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e038.htm>.

27. Компания – производитель Rad7 - DurrIDGE. – Режим доступа: <https://durrIDGE.com/documentation/RAD%20BIGBOTTLESYSTEM%20Manual.pdf>.

28. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197;

29. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений»; утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 13.06.2003 г.

30. СанПиН 2.2.2/2.4.1.1340-03. «Гигиеническими требованиями к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 15.06.2003 г.

31. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2016.

32. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»; утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.10.1996 г.

33. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1976

34. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Минрегион России, 2016

35. СНиП 21-01-97 от 1998-01-01 Пожарная безопасность зданий и сооружений.

Приложение А (справочное)

Раздел 1

The results of measurements of radon and thoron on the Russian Arctic Shelf

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM84	Пластун Сергей Андреевич		

Консультант школы отделения (НОЦ) _____ (аббревиатура школы, отделения (НОЦ)) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Рыжакова Н.К	к.ф-м.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Смирнова У.А.			

Summary

The final qualifying work includes 140 pages, 31 figures, 27 tables, 35 sources and 4 applications.

Keywords: Russian Arctic Shelf, volumetric activity of radon and thoron in water, radiometer *RAD7*, melting of ice and permafrost.

The objective of this work is the study of the volumetric activity of radon and thoron on sea shelf of the Russian segment of the Arctic.

During the research, the study of methods of sample preparation and measurement of the volumetric activity of radon and thoron in water using a *RAD7* radiometer was carried out. The results of measurements of radon and thoron on the shelf of the seas of the Russian segment of the Arctic were obtained and analyzed.

The results of the work can be applied in radioecology, oceanology, groundwater discharge on the shelf and estimation of river discharge and plumes scale.

The significance of the work is that it provides information of the radio-geochemical situation in the water of the Russian segment of the Arctic, which is necessary for the development of the sea shelf. An integrated approach to the study of the geological structure of the shelf, as well as the phenomena and processes occurring on surface, is based on the use of natural tracers of radon and thoron.

The final qualification work was performed at «School of Nuclear Science & Engineering» Division for Nuclear-Fuel Cycle TPU, measurements were taken during expeditions AMK-73 and AMK-78 in the Arctic.

Introduction

The special attention is paid to the study of the climatic conditions of the Arctic in connection with the development of the economy of northern territories of Russia. In particular, there is the interest in radioisotope studies of northern marine waters. The main objectives of such research are: the assessment of the radioecological situation in the Russian sector of the Arctic; the study of dependence of depth of the sea on value of radioisotopes concentration; the estimation of the proportion of river water in sea waters; the study of groundwater flow in the sea.

Radon and thoron are natural radioactive gases that evolve by consecutive radioactive transformations from U – 238 (Ra – 222) and Th – 232 (Rn – 220). In the course of the 73rd and 78th cruise of the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” in the autumn of 2018, samples of water were taken from the surface of the sea by the “flow-through” system and at twenty hydrological stations from different horizons (surface, thermal layer and bottom layer) by bathometers for radiometric analysis on the *RAD7* radiometer. In the course of the expeditionary work, the data of volumetric activity of Ra - 222 and Rn - 220 in water samples were obtained.

The objective of the research is the study of the volumetric activity of radon and thoron on the Russian Arctic Shelf.

The objectives are:

- the study of methods of sample preparation and measurement of the VA of radon and thoron in water using a *RAD7* radiometer;
- the study of the methodology for calibrating the *RAD7* radiometer using the Rn-220 etalon source;
- the sampling obtained from the flow system, box corer and at hydrological stations;
- the measurement of VA Rn-222 and Rn-220 in water samples using a *RAD7* radiometer;
- the processing of measurement results;
- the analysis of the results.

Literature review

Radon is the heaviest of inert gases; it has no color or smell. Its liquefaction temperature is -62 C . The density of radon is 7.5 times higher than the density of air under normal conditions. Radon-222 is formed in nature as a product of radioactive decay in a radioactive chain, the beginning of which is U-238, and radon-220 is a decay product in the Th-232 chain (Fig. 1) [1]. It is very soluble in water up to 460 mL per 1 L of water under normal conditions. Due to inertness, it relatively easily leaves the crystal lattice of the mineral in which Ra is formed during the radioactive decay. The interaction with water occurs because of diffusion. Due to weak electrons on the outer shell of an atom, the Van der Waals force of interatomic interaction in water and other liquids hold radon.

The distribution of radon between the gas and liquid phases obeys Henry's law [Starik, 1960] under ideal conditions, according to which at the constant temperature the solubility of a gas in a given liquid is directly proportional to the pressure of this gas above the solution. The law is suitable only for ideal solutions and low pressures. However, with temperature changes of the stream, mineralization and gas velocity or pressure, interfacial redistribution occurs. At a temperature of $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, the ratio of the concentration of radon dissolved in water to the concentration in air is in the range of 0.51–0.53, with an increase of temperature to $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ this coefficient drops to 0.23. In addition, the solubility of radon decreases with increasing mineralization of the solution [Schubert, Paschke, Lieberman et al., 2012].

When describing natural radioactive chains, one can find not only standard designations of radionuclides, but also their historical names, which are found both in the literature of past years of publication and in practical activities. In particular, the historically used name “radon” is common for the Rn-222 isotope, and “thoron” for the Rn-220 isotope.

In the chain of radioactive decay of U-235, there is a third isotope of radon Rn-219 (actinon), however, due to the short half-life of 3.96 s and the low content

of U-235 in the environment, from the point of view of radiation safety, it can be of only theoretical interest [2].

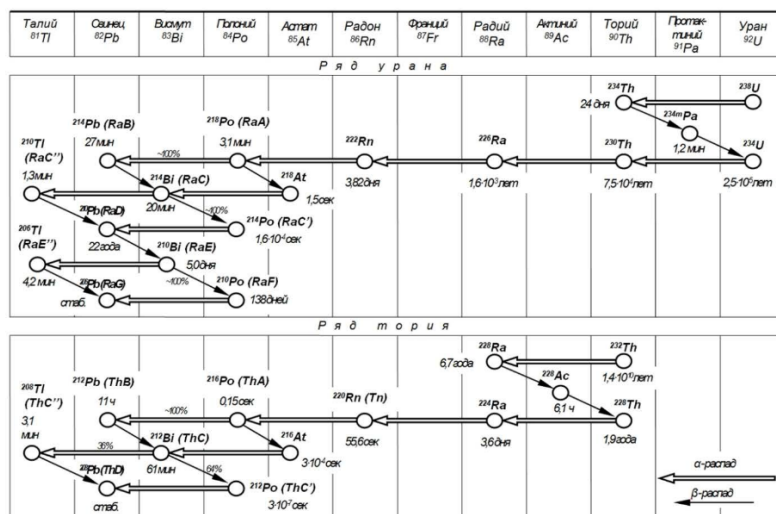


Fig. 1 The chains of radioactive decay of U-238 and Th-232 (not only standard, but also traditionally established notation of elements of the decay chains of U-238 and Th-232 are given)

The radiation energies of radon isotopes and their daughter decay products are presented in the reference literature. So, in publication 107 of ICRP, the parameters of α - and β - decay of radon isotopes and their DDP are given, as well as the radiation energy and quantum yield for gamma-emitting nuclides [3] (Tables 1.1 and 1.2).

Table 1. Radiation properties of Rn-222 isotopes and its main daughter decay products

Radionuclide	Half-life Decay	Type	Particle energy, MeV	γ -ray energy, MeV
Rn-222 (Rn)	3,825 days	α	5,4897	—
Po-218 (RaA)	3,05 min	α	6,0025	—
Pb-214 (RaB)	26,8 min	β	0,672 (48)* 0,729 (42,5)	0,242 (7,4) 0,295 (19,3) 0,352 (37,6)
Bi-214 (RaC)	19,7 min	β	1,505 (17,7) 1,540 (17,9) 3,270 (17,2)	0,609 (46,1) 1,12 (15,1) 1,76 (15,4)
Po-214 (RaC')	1,637·10 ⁻⁴ s	α	7,6871	—
Pb-210 (RaD)	22 years	β	0,0165 (80,2)	0,0465 (4,3)

			0,063 (19,8)	
Bi-210 (RaE)	4,989 days	β	1,161	–
Po-210 (RaF)	138,4 days	α	5,3045	–
* In parentheses is the radiation output (data for particles and γ -quanta with a maximum yield are given), %				

Table 2. Radiation properties of Rn-220 isotopes and its main daughter decay products

Radionuclide	Half-life Decay	Type	Particle energy, MeV	γ -ray energy, MeV
Rn-220 (Tn)	55,6 s	α	6,288	–
Po-216 (ThA)	0,146 s	α	6,7785	–
Pb-212 (ThB)	10,64 h	β	0,334 (85,1) 0,573 (9,9)	0,239 (43,3) 0,300 (3,3)
Bi-212 (ThC)	60,55 min	α (35,93 %) β (64,07 %)	6,050 (25,2) 6,090 (9,6) 1,519 (8,0) 2,246 (48,4)	0,727 (6,6) 1,62 (1,5)
Po-212 (ThC')	$2,98 \cdot 10^{-7}$ s	α	8,7849	–
Tl-208 (ThC'')	3,053 min	β	1,284 (23,2) 1,517 (22,7) 1,794 (49,3)	0,511 (22,6) 0,583 (84,5) 0,861 (12,4) 2,61 (99,2)

Let us consider a number of basic concepts used to describe the state of radon isotopes and their daughter decay products in water and the atmosphere. Their use is primarily due to the fact that in the decay chain of radon in air and, accordingly, in water, there is always a significant shift in the equilibrium between the gaseous isotope of radon and its DDP due to various processes occurring in the atmosphere and water. To describe the integral volumetric activity of daughter products of radon decay in air we use the concept of "specific potential energy of alpha radiation" - the volumetric activity of short-lived daughter products of radon and thoron in air, expressed in units of alpha-radiation energy emitted by any mixture of short-lived daughter products Rn-222 or Rn-220 per unit volume of air with the complete

decomposition of daughter products of Rn-222 to Pb-210 or daughter products of Rn-220 to Pb-208 [4,5].

The equivalent equilibrium volumetric activity (EEVA) of radon for a nonequilibrium mixture of short-lived decay products in air is such a volume activity of radon in complete equilibrium with daughter decay products, which has the same specific potential alpha radiation energy as this nonequilibrium mixture.

The equivalent equilibrium volumetric activity of Rn-222 is associated with the volumetric activities of Po-218 - Bi-214, and Rn-220, respectively, with Po-216 - Bi-212 in the following ratio:

$$A_{eq}^{Rn} = A_{V0}^{Rn} \cdot F = 0,1046 \cdot A_{V1} + 0,5161 \cdot A_{V2} + 0,3793 \cdot A_{V3}$$

$$A_{eq}^{Tn} = A_{V0}^{Tn} \cdot F = 7 \cdot 10^{-6} \cdot A_{V1} + 0,9133 \cdot A_{V2} + 0,0867 \cdot A_{V3}$$

Where through A_{eq}^{Rn} and A_{eq}^{Tn} are indicated the volumetric activities of radon and thoron, respectively, A_{V1} , A_{V2} and A_{V3} are the volumetric activities in Bq / m³ of Po-218, Pb-214, Bi-214 (the upper equation) and A_{V1} , A_{V2} and A_{V3} are respectively volumetric activity of Po-216, Pb-212, Bi-212 (lower equation), Bq / m³.

The numerical values of the coefficients reflect the fractional contribution of each decay product to the total potential energy of alpha radiation, referred to the unit of activity of the gaseous Rn-222 or Rn-220. The equilibrium coefficient F is defined as the ratio of ERVA of radon to VA of radon. In practice, the coefficient is always $F < 1$.

Methods for measuring VA of radon and thoron in air

The detailed description of modern methods for measuring VA and ERVA of radon and thoron was made in [5, 7]. Consider briefly these methods. The general scheme of instrumental methods for measuring VA of radon is presented in Fig. 2 [8]. Retrospective methods that allow obtaining information about the average levels of VA do not currently have sufficient metrological support and are not considered in this work.

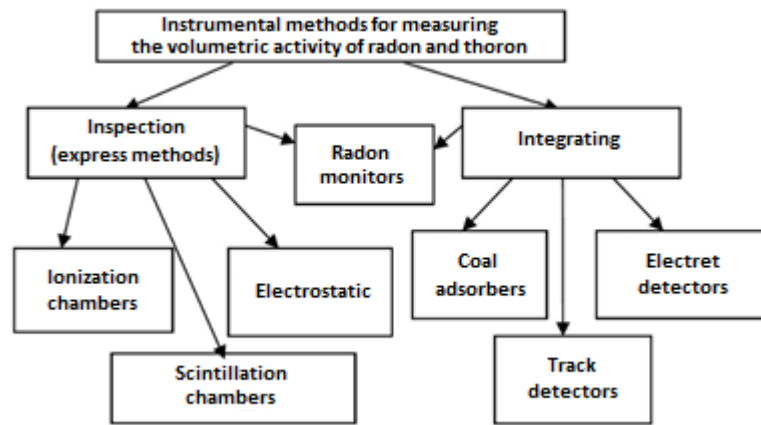


Fig. 2 General diagram of instrumental methods for measuring VA of radon and thoron

Inspection methods

Inspection methods for measuring VA of radon (express methods) provide information on the current value of this parameter in a relatively short time interval. The use of ionization chambers in measurements of VA of radon is generally similar to their use in measurements of VA of other gases. Depending on the level of VA of radon, measurements can be done both in a pulsed and in a current mode. When using ionization chambers to measure VA of radon, it is necessary to take into account the accumulation of DDP of radon generated in the chamber volume on the elements of its structure (walls, electrodes, insulators, etc.).

Scintillation chambers

Scintillation chambers, or Lucas cells, are the measurement tool used only for measuring OA of radon [9]. The Lucas cell is a vessel whose walls are covered with a ZnS (Ag) scintillator, which has a window for interfacing with a photoelectron multiplier (Fig. 3)

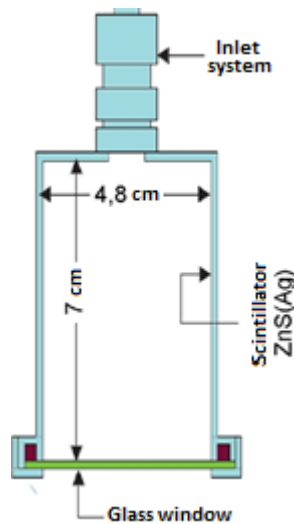


Fig.3 Schematic of the design of the scintillation chamber (Lucas cell) [10]

The air sample can be measured after evacuation of scintillation chamber or by pumping at least 5 sample volumes through the chamber. After some time, with the decay of radon in the chamber, short-lived decay products settle on walls. The decay of α -emitting DDP of the radon (Po-218 and Po-214), scintillation flashes recorded by the photoelectron multiplier appear on chamber walls.

Electrostatic chamber

The basic principle of recording radon and thoron in air using an electrostatic chamber is based on the fact that the daughter products of their decay are positively charged ions Po-218 and Po-216 [11-15]. The remaining particles in the chamber are either neutral or negatively charged. If the resulting DDP are placed in an electric field, then their migration along the field lines of force and their collection on the surface of the detecting device will be observed.

An electrostatic chamber is a hollow, most often hemispherical or cylindrical vessel. The volume of the electrostatic chamber is usually from 1 to 6 liters. An α radiation detector is installed in the camera. Earlier, scintillation detectors were used [12–14] but recently exclusively surface-barrier semiconductor detectors operating in the spectrometric mode have been used. A potential difference of 1–4 kV is created between the chamber wall and the detector so that the positively charged daughter decay products of radon and thoron move under the action of an electric field to the detector and settle on surface (Fig. 4).

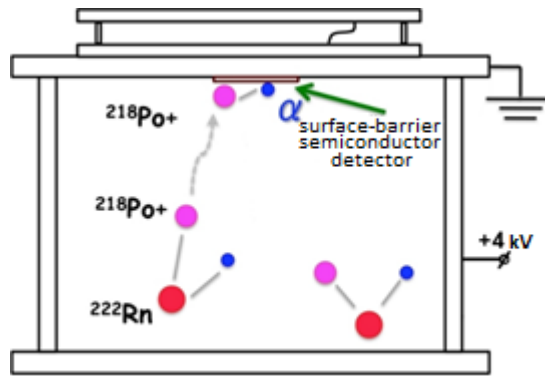


Fig. 4 Principle of operation of an electrostatic chamber

Radon enters the measuring electrostatic chamber either by pumping air through the chamber volume or passively by diffusion through a porous material, which in this case surrounds the external electrode [12]. Positively charged ions formed during the decay of radon and thoron, Po-218 and Po-216 atoms are collected under the action of an electric field on the surface of the α -detector.

The detector detects alpha particles generated during the decay of Po-218. The use of surface-barrier semiconductor detectors operating in the spectrometric mode makes it possible to separate the α -particles produced during the decay of Po-218 and Po-214. Thus, the time interval between two measurements is reduced, since there is no need to expect complete decay of daughter decay products deposited on the detector surface before the start of the next measurement.

For inspection measurements of radon VA in Russia, the most commonly used are the RRA-01M-01, RRA-01M-03 devices or more modern versions of the Alpharad Plus series (NTM-protection, Russia), in which an electrostatic camera is used as a detector [11, 15]. The measurement range of the volumetric activity of Rn-222 and Rn-220 is from 20 to 20,000 Bq / m³. A sample of the analyzed air is pumped into the measuring chamber through an aerosol filter using a blower. The sampling indoor air is recommended to use a dehydrating cartridge that is filled with silica gel, which absorbs water vapor from the controlled air.

Integrating Methods

The integrating measuring instruments of VA of radon and thoron, shown in Fig. 2, two types of detectors are widely used and entered into the State Register of Measuring Instruments - coal adsorbers and track detectors.

The signal in integrating radon detectors is proportional to the average volumetric activity of radon during the measurement period, which reduces the spread of values. Detectors, the principle of which is based on the ability of activated carbon to absorb radon from the surrounding atmosphere, can be used in order to obtain information for the measurement period of 1-6 days. This is due to ease of use, the possibility of regeneration and reuse of activated carbon and a shorter exposure time, i.e., a faster result.

The method of coal adsorbers

The method of coal adsorbers is based on sampling by an activated coal sorption column open at one end, followed by measuring the activity of coal from the β or γ radiation of short-lived DDP radars Pb-214 and Bi-214. Radon adsorption occurs passively, without the use of forced pumping. The method was industrially implemented in the measuring complex "Camera-01" (STC "Niton", Russia) for monitoring radon [16]. The complex uses activated coal grade SKT-3, which has a high sorption capacity for radon. Coal regeneration for cleaning from sorbed water and radon molecules is carried out using a regenerator. To adjust the sorption capacity of the sorption column, air humidity is controlled by determining the gain ΔM (g) to the mass of activated coal during the sampling. The sampling takes 1-6 days with a sorption column installed in the room. 3-12 hours after the end of sampling, radon activity in coal is measured by pouring coal into the BDB-13 β -radiation detection unit. Processing of accumulated pulses, viewing and registration of measurement results is carried out using specialized software.

Solid state track detectors

Recently, for the passive registration of heavy charged particles (α particles, fission fragments, particles of cosmic origin, etc.), the so-called solid-state track

detectors are widely used [17-20]. Charged particles passing through dielectrics lose energy along their path and produce radiation disturbances in the substance. As a result, a space charge region is formed along the particle trajectory. As a rule, this region has increased chemical solubility and is called a latent, latent track. This track can be detected without preliminary processing, either using an electron microscope or spectrometric methods. Due to the absence of free electrons in dielectrics, the latent track region is quite stable and, depending on the composition of the material, temperature and humidity of the medium, can remain unchanged from several days to several years. When specially selected solvents act on dielectrics with latent tracks, hollow conical or cylindrical channels are formed on the damaged areas, extending from the surface into the interior of the material. These are identified tracks.

The track detector is placed inside a special camera for measurements. The inner space of the chamber is separated from the atmosphere by a diffusion membrane. The characteristics of the diffusion membrane are selected in such a way as to exclude the ingress of dust and aerosols from the outside atmosphere. On the other hand, for the free entry of radon into the chamber, the time of diffusion transfer of gaseous radon through the membrane should be much less than the half-life of radon. In this case, the density of the tracks formed in the substance of the sensitive volume of the track detector is proportional to the average VA of the radon taking into account the exposure time. The number of tracks can be calculated manually using a microscope, using digital image recognition systems, as well as other automated systems (for example, an electric spark counter).

In Russia, a number of radon radiometers based on the material LR-115 (nitrocellulose) were developed and produced (Fig. 5). [21,22]



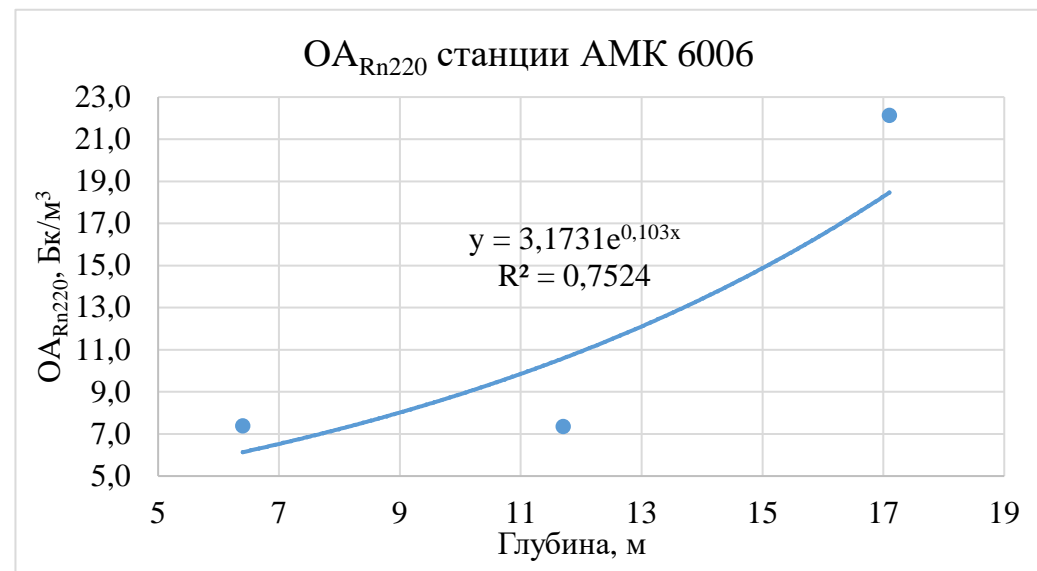
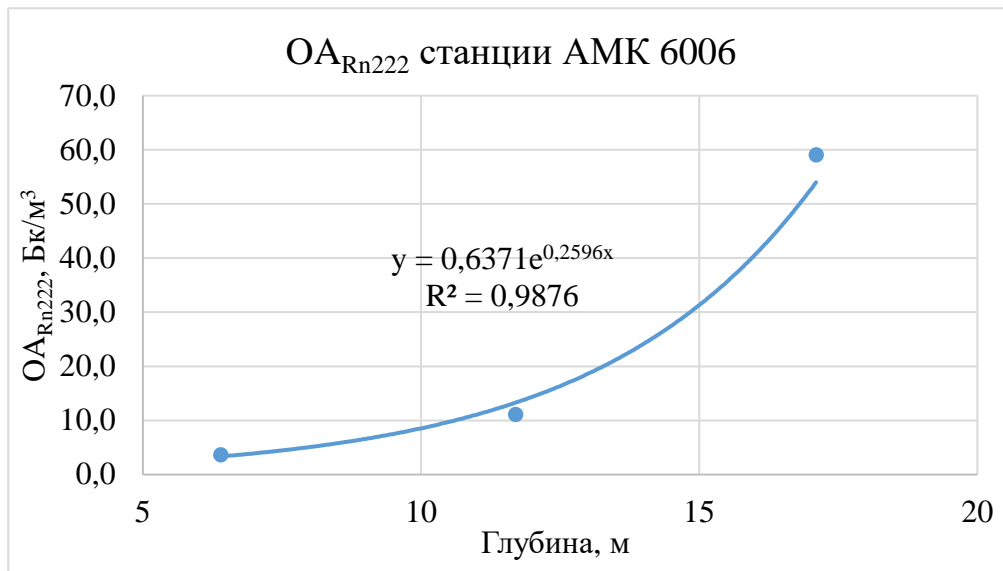
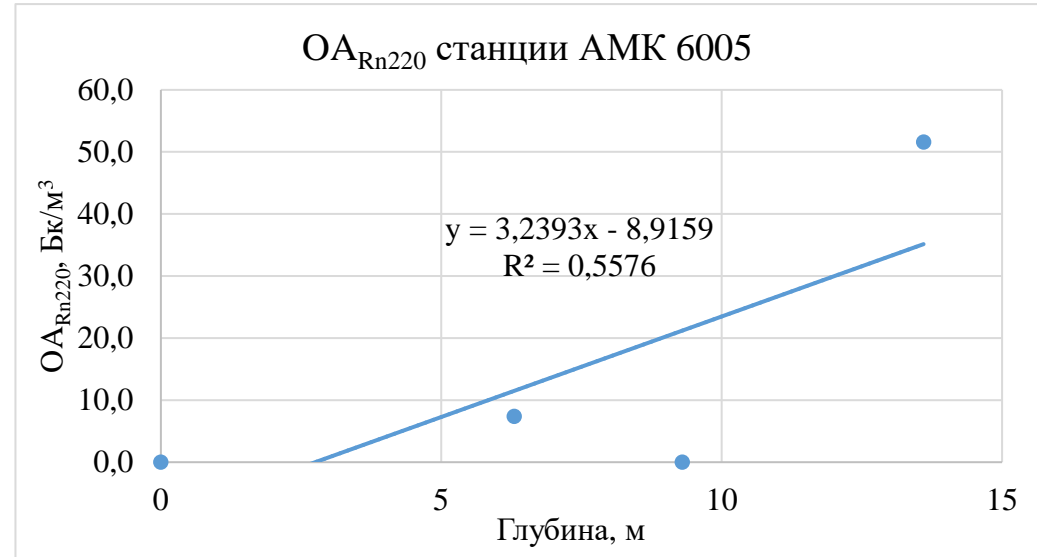
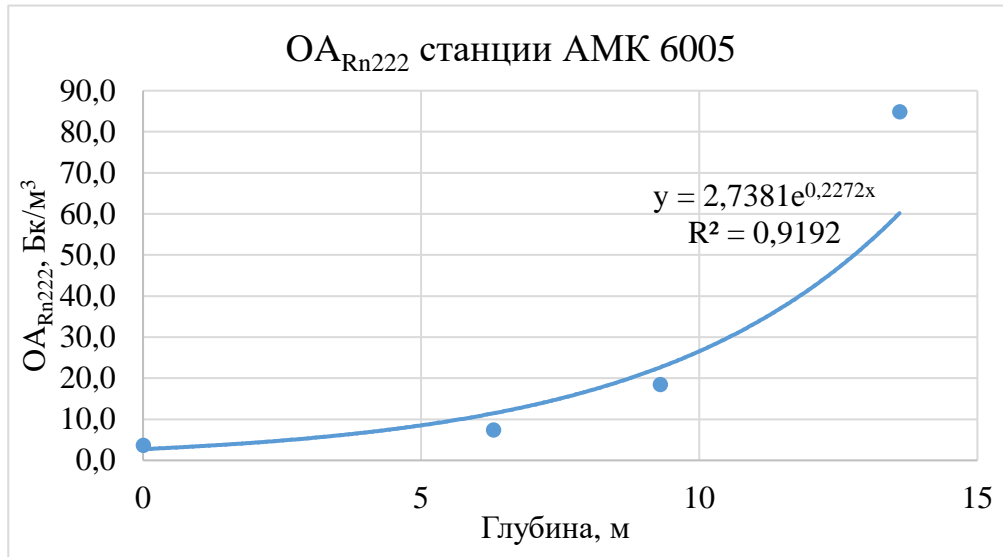
Fig. 5 Integrating track radon radiometers based on LR-115 developed by the following organizations: 1 - detector of the St. Petersburg Institute of Radiation Hygiene; 2 - detector of the V. G. Khlopin Radium Institute; 3, 4 - detectors developed at Radiation and Environmental Research CJSC, Moscow

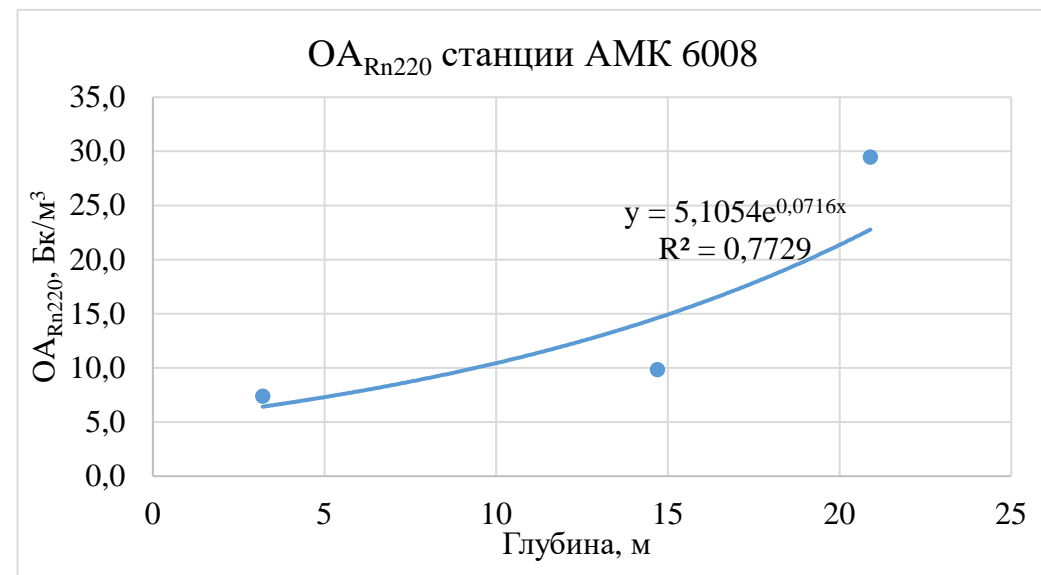
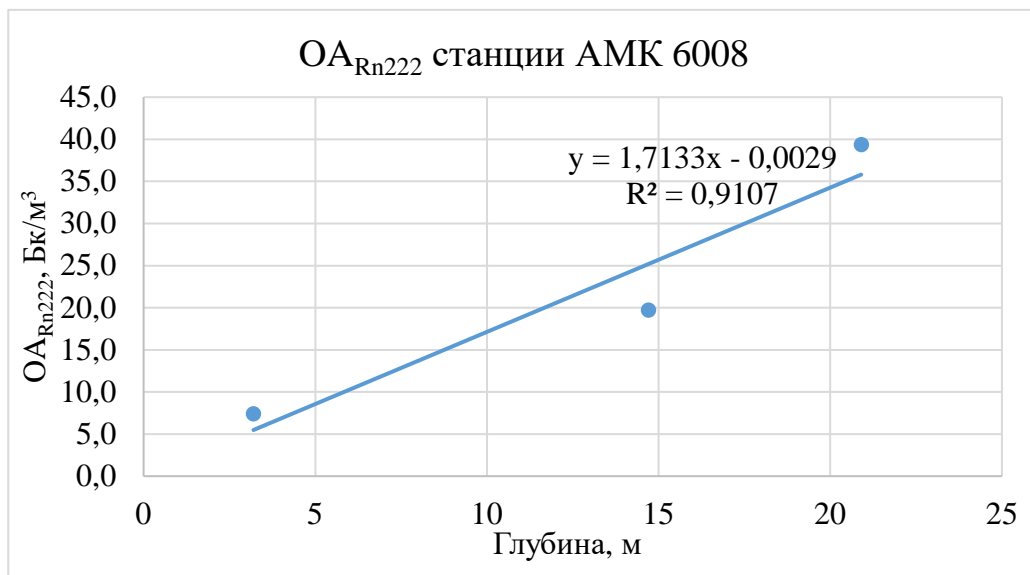
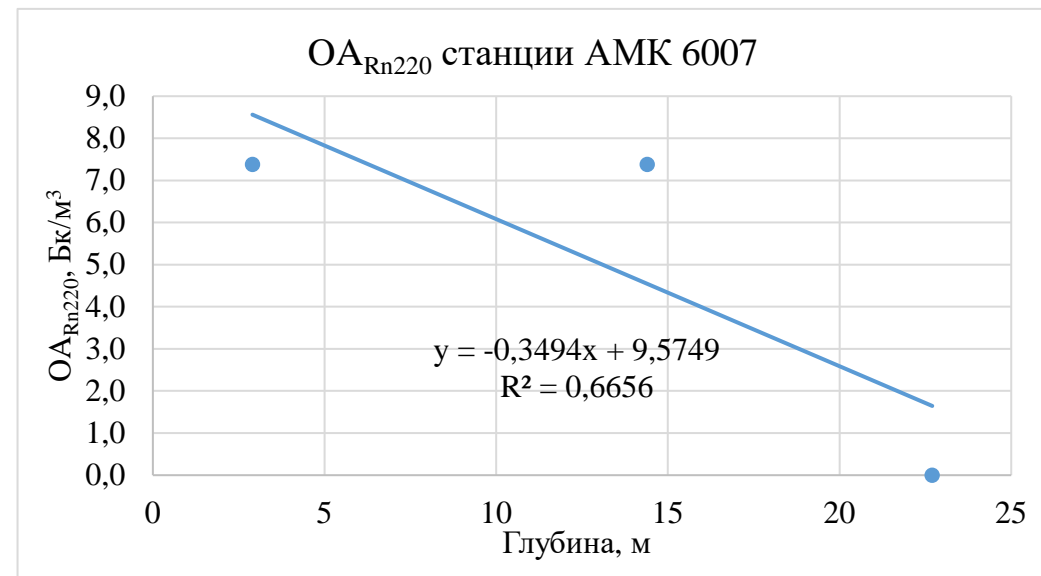
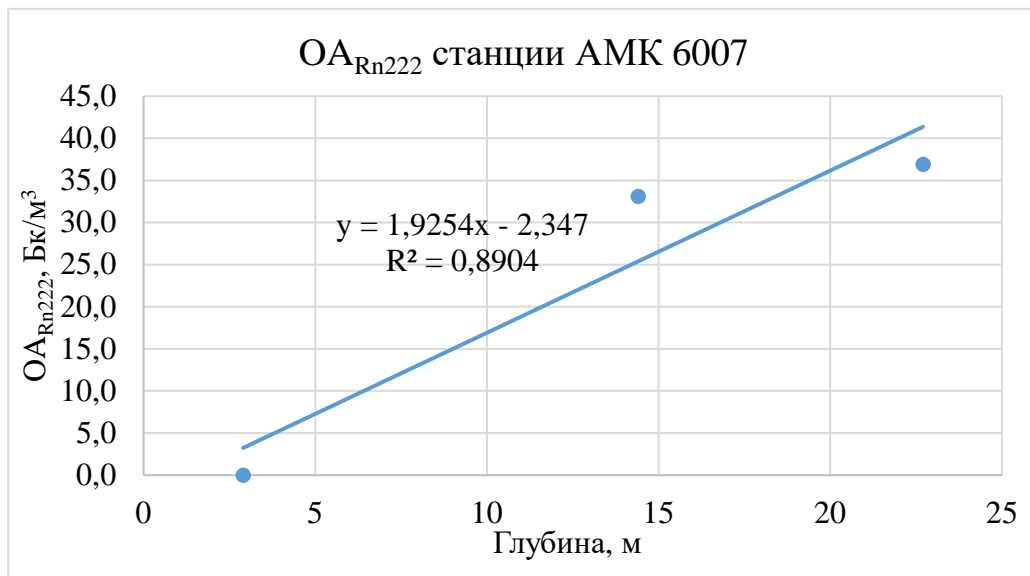
In Europe, track detectors based on CR-39 plastic are widely used, having a wider energy range for detecting α particles and higher reproducibility of measurements. Detectors based on CR-39 plastic are shown in Fig. 6.

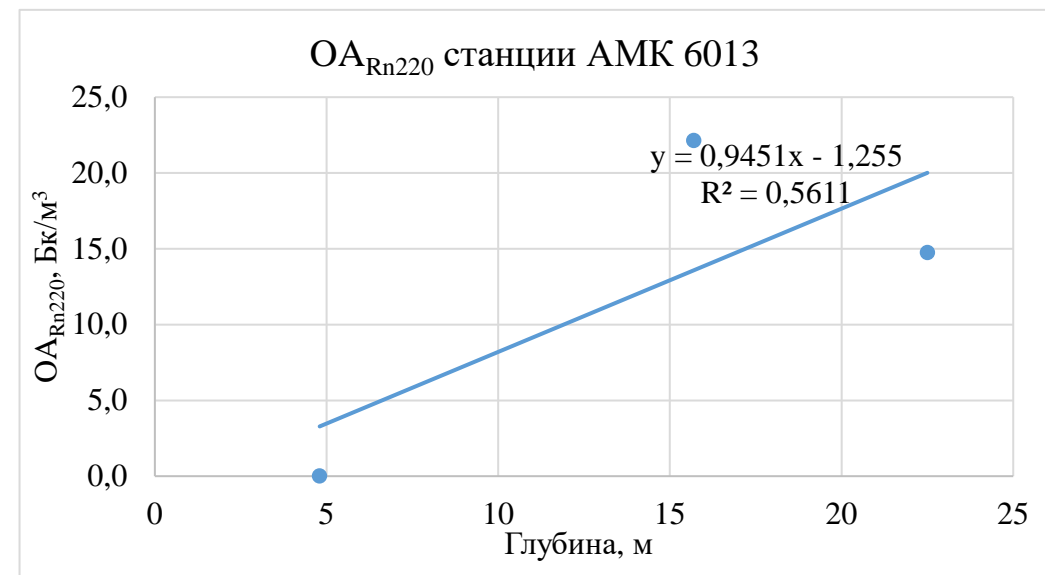
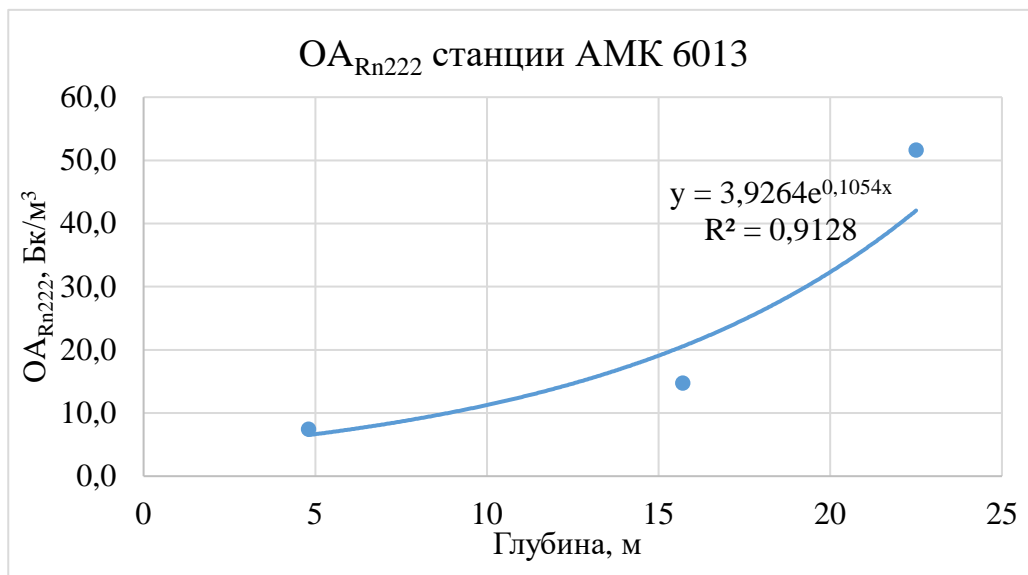
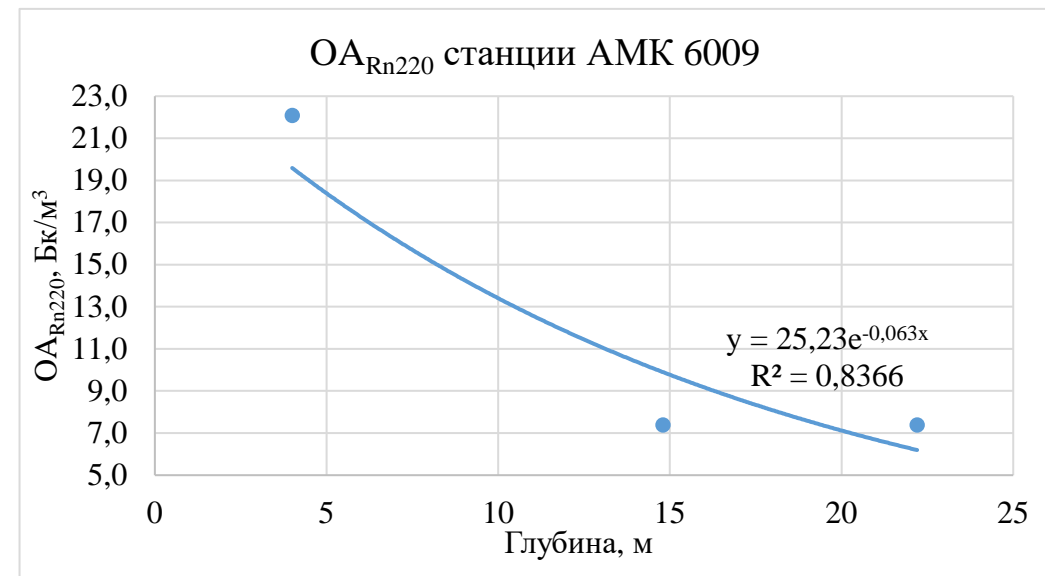
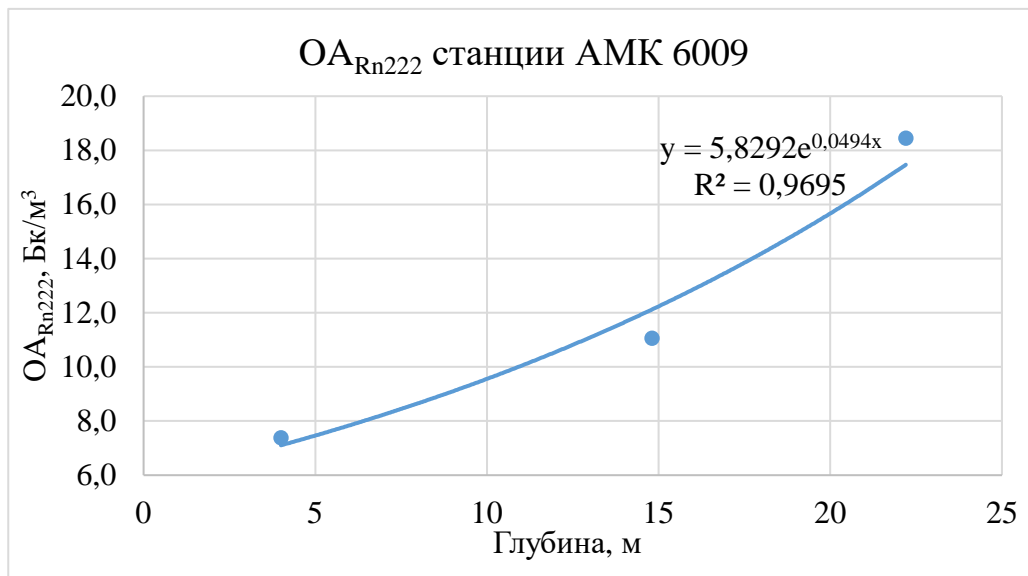


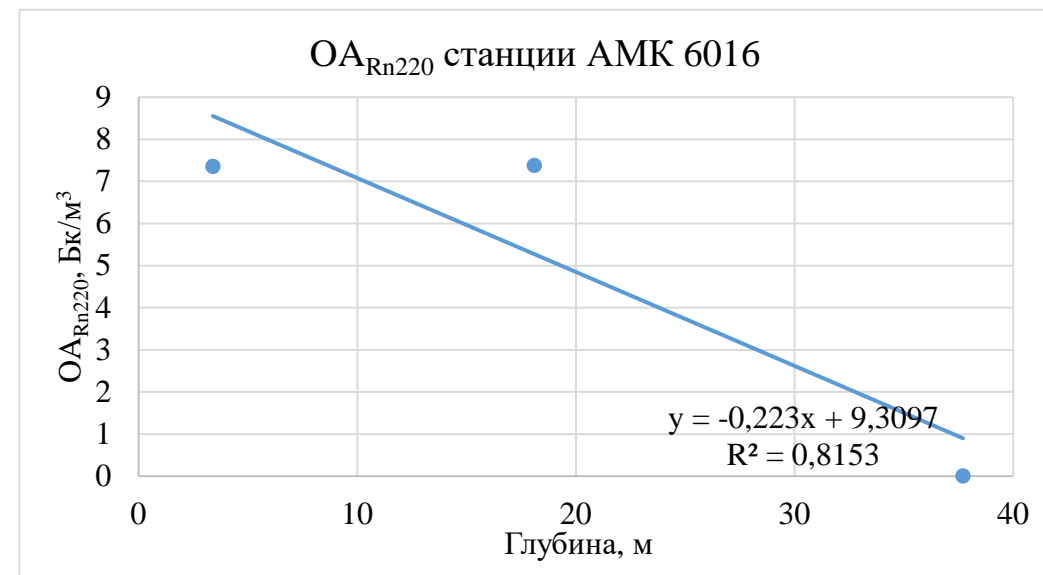
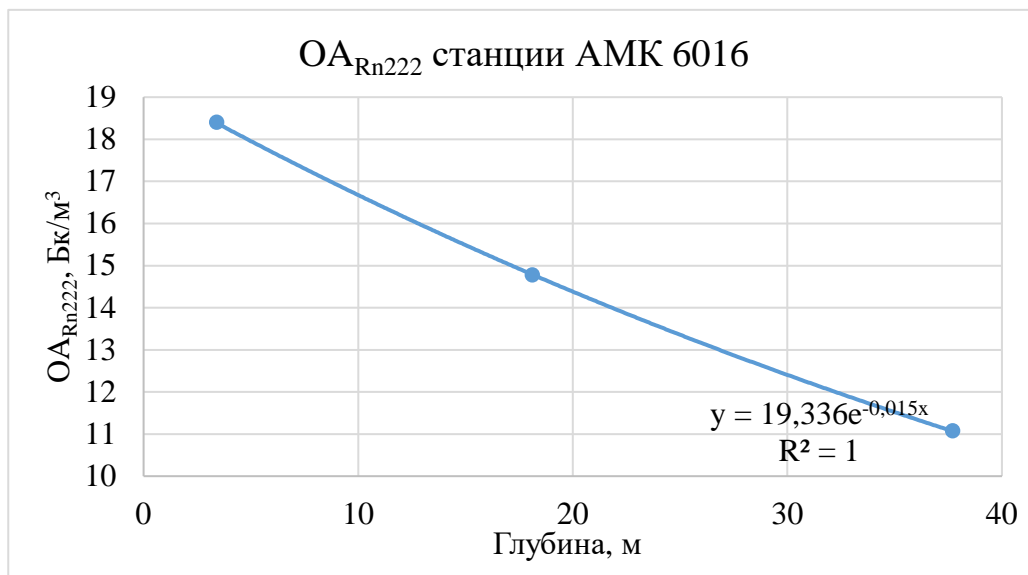
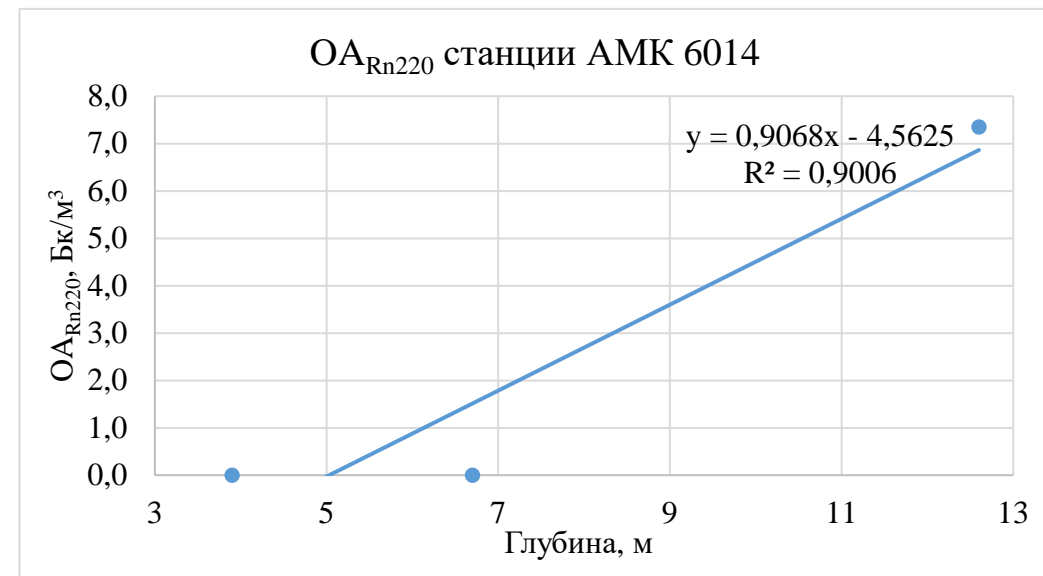
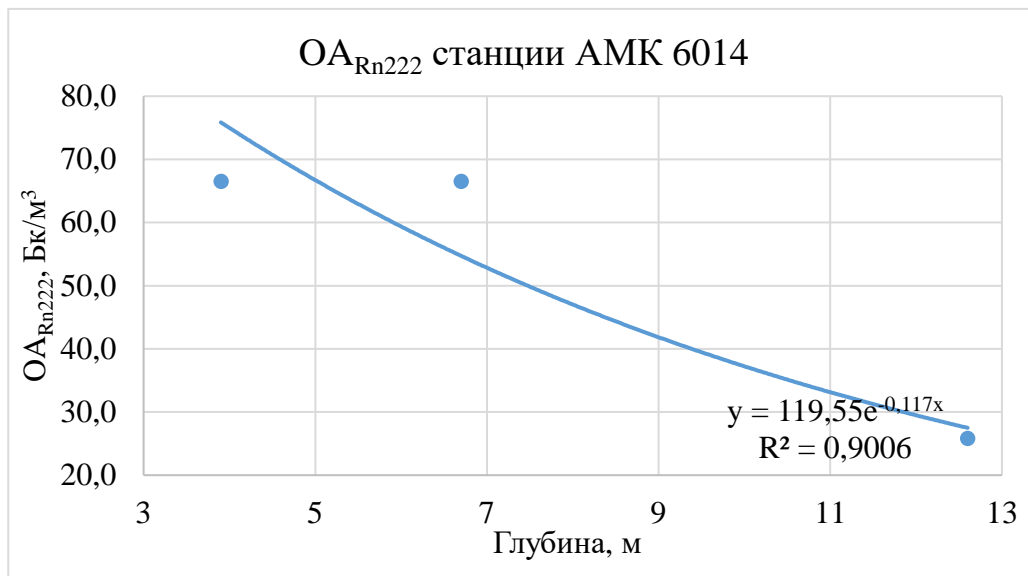
Fig. 6 Radon radiometers based on polycarbonate material CR-39 manufactured by NRPB and RadoSys [23,24]

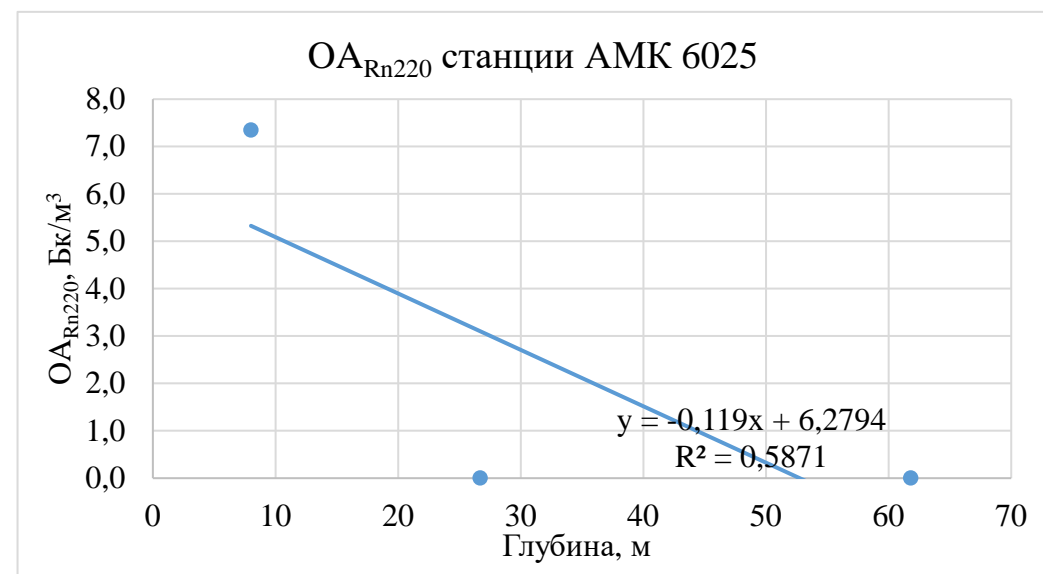
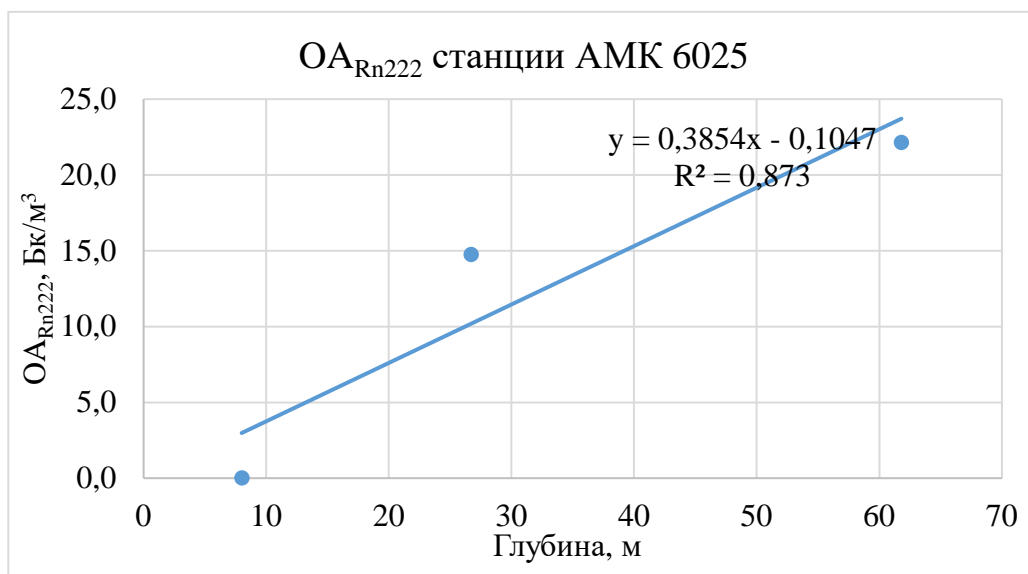
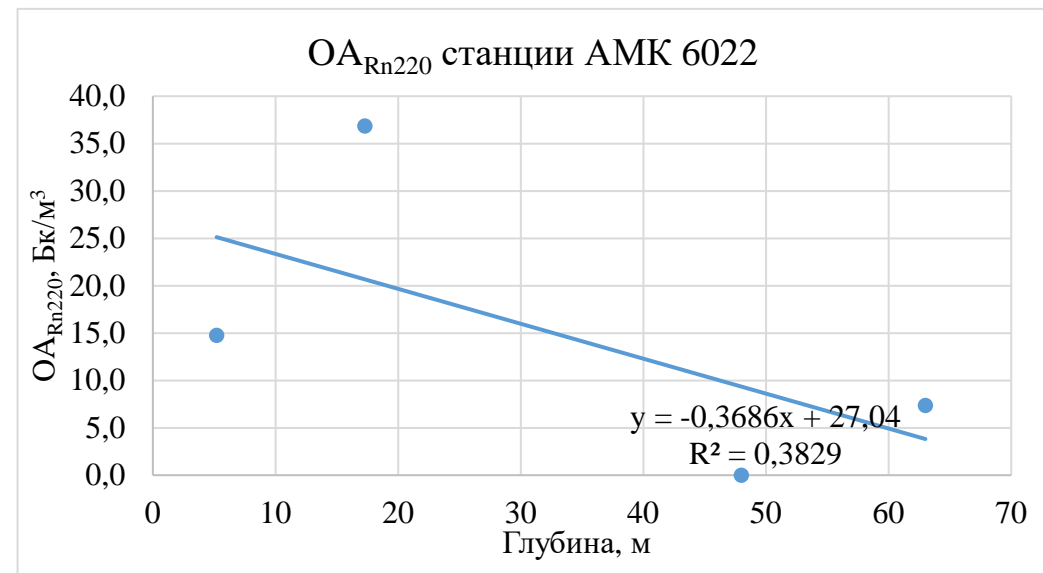
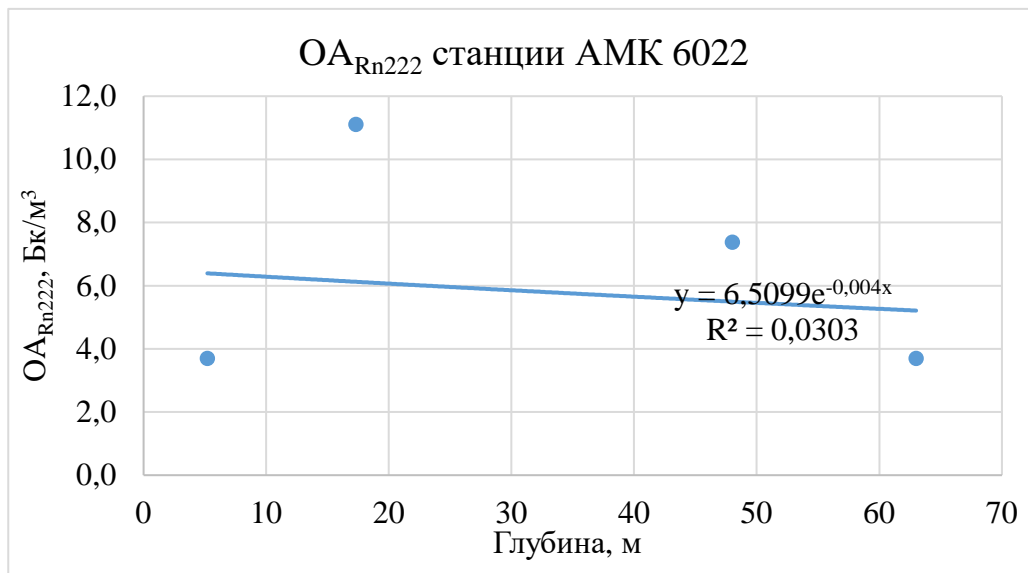
Приложение Б (графики зависимости ОА радона и торона от глубины в 2018 году)

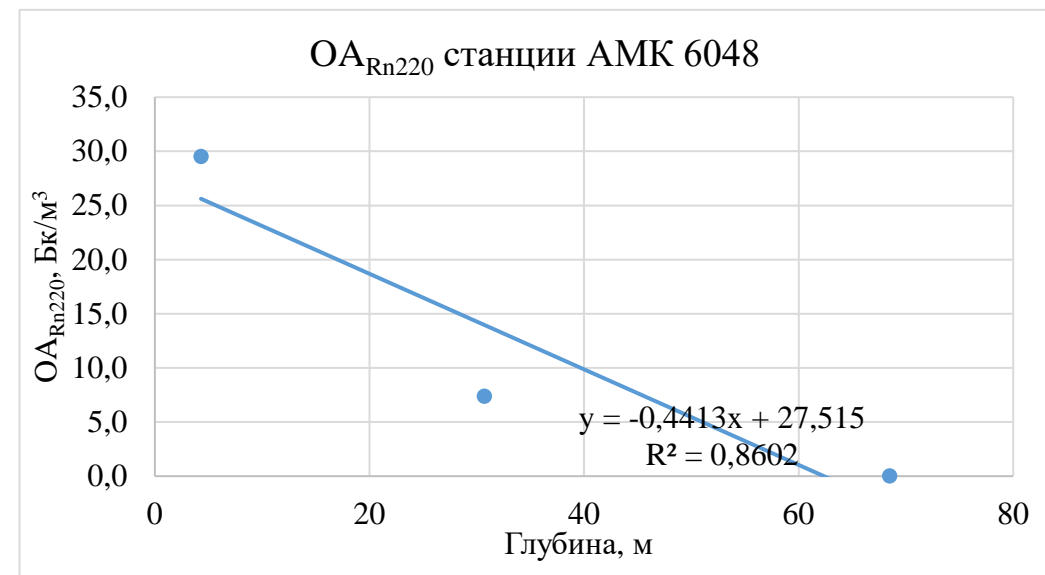
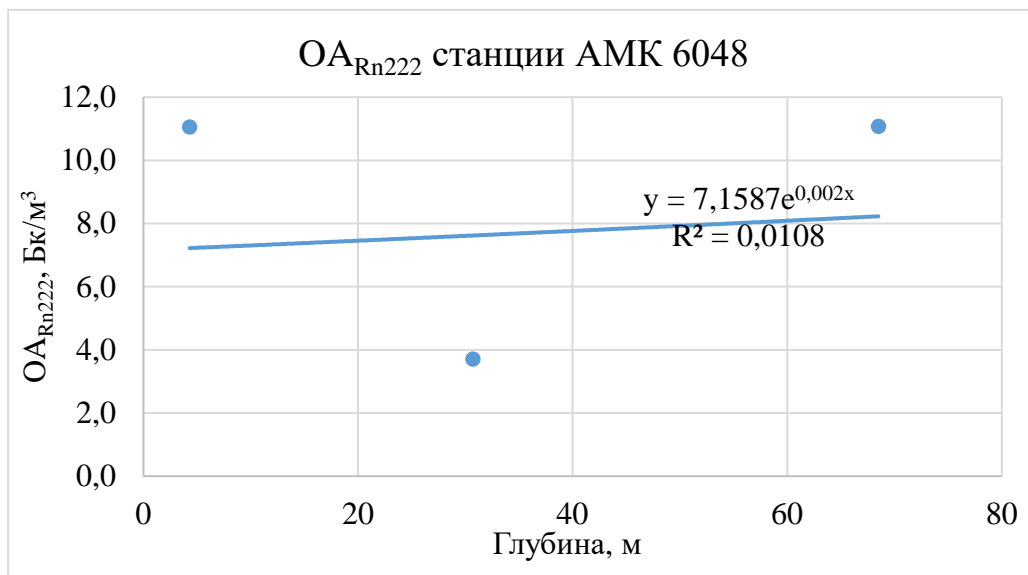
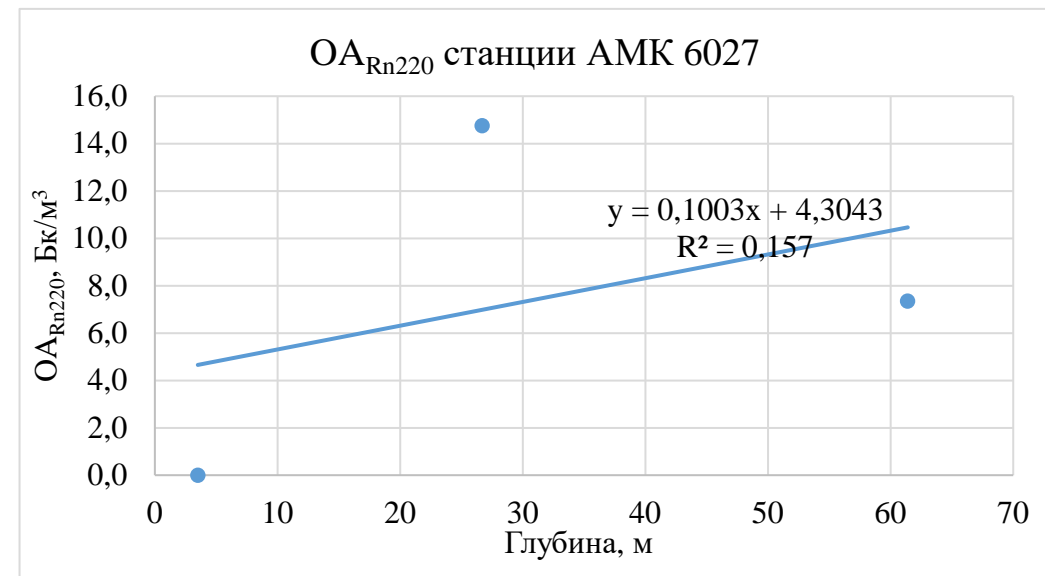
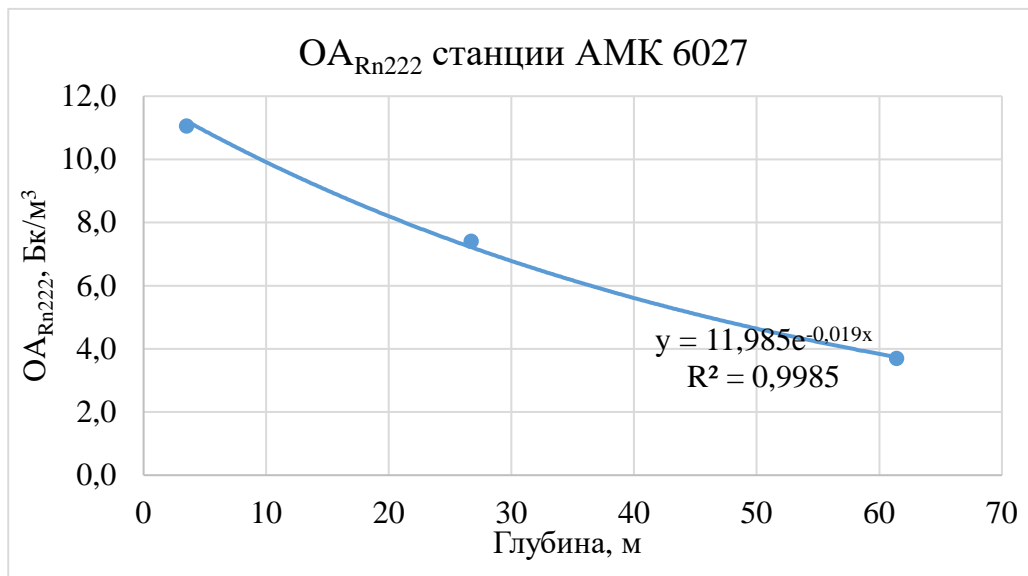


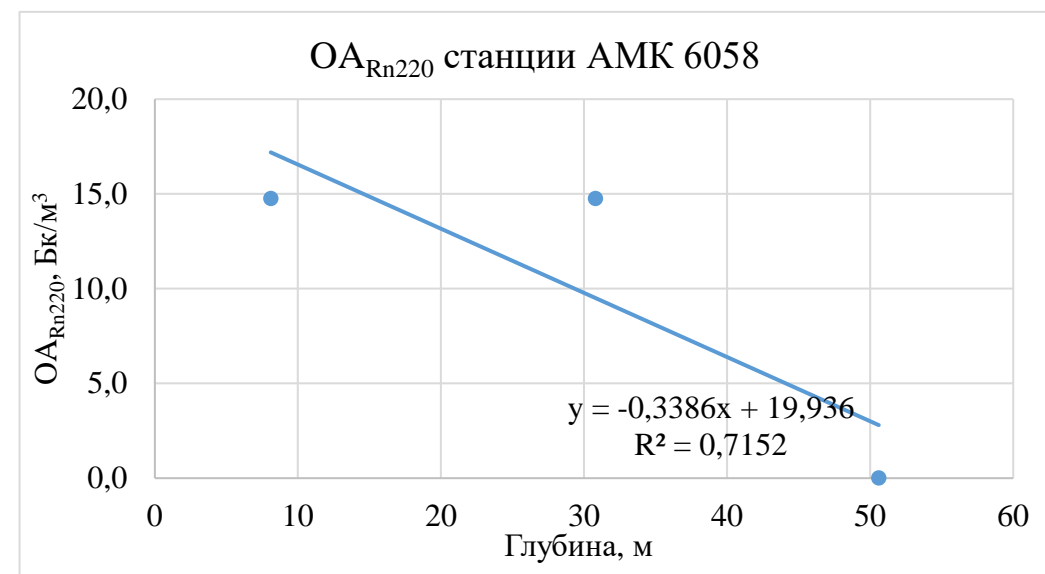
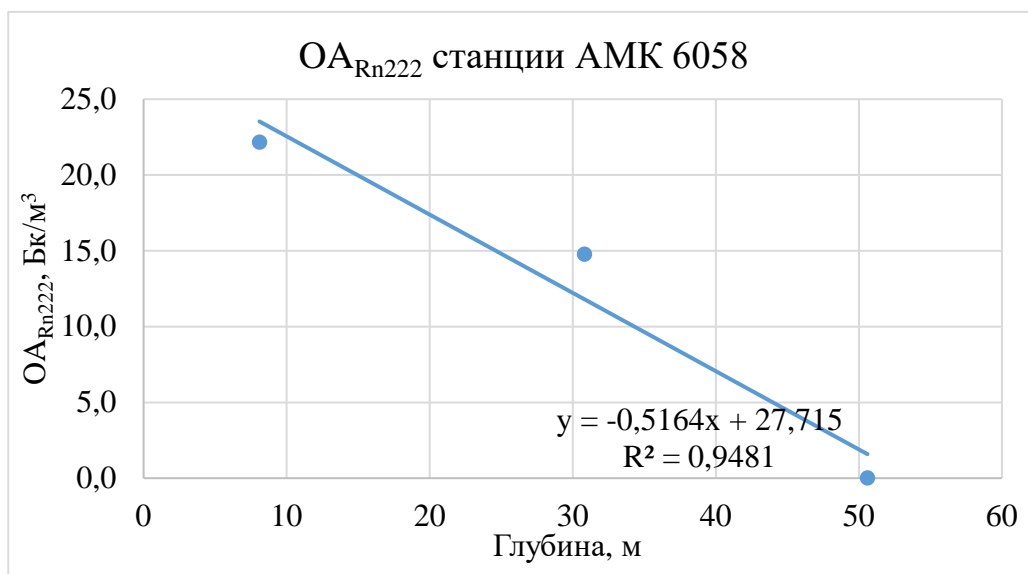
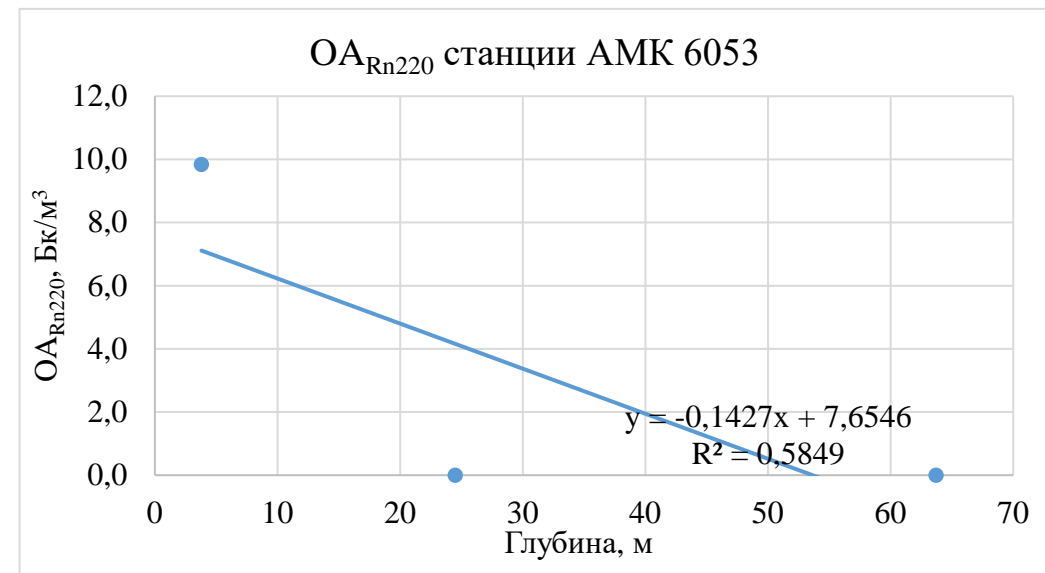
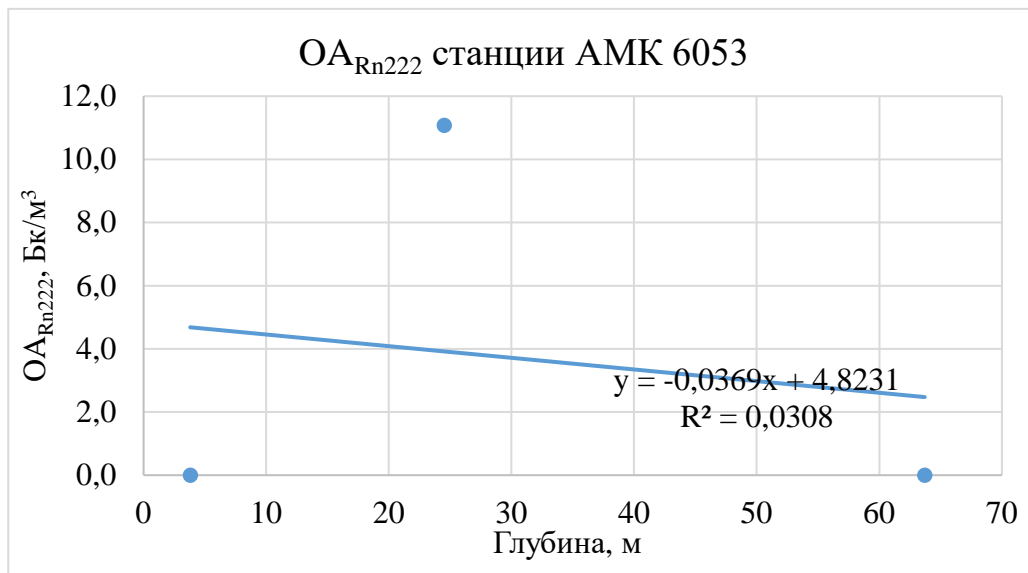


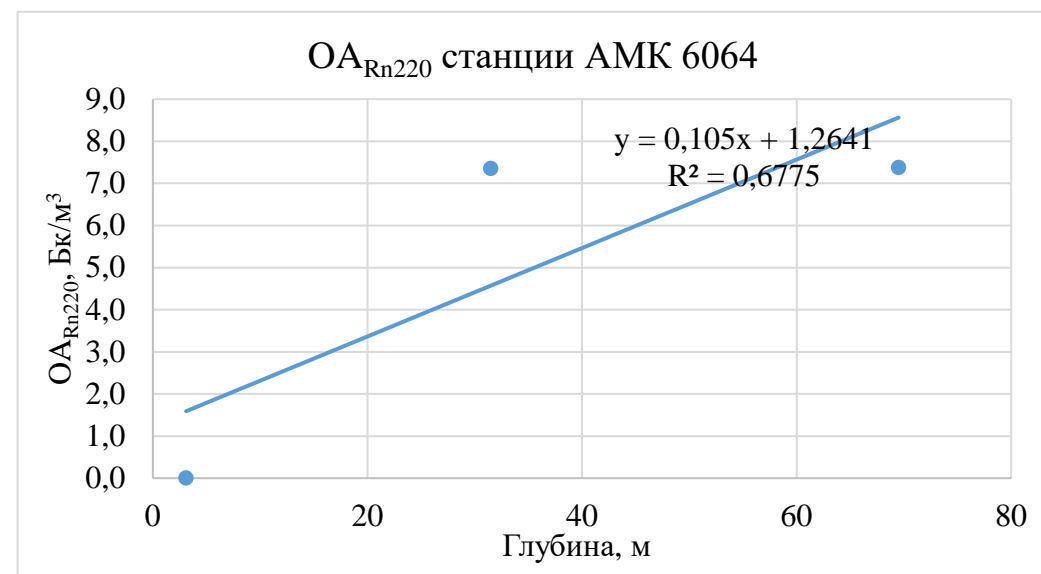
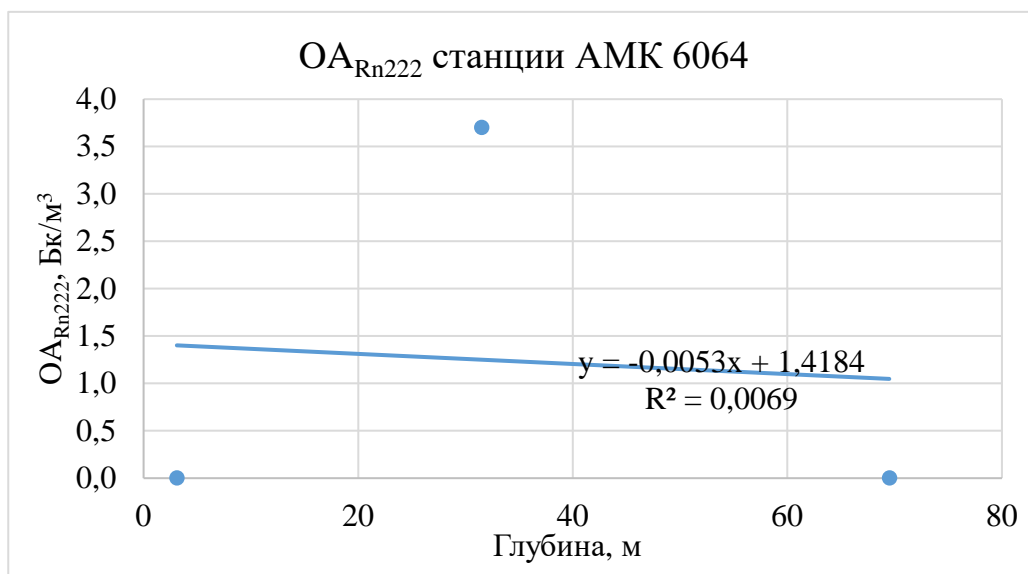
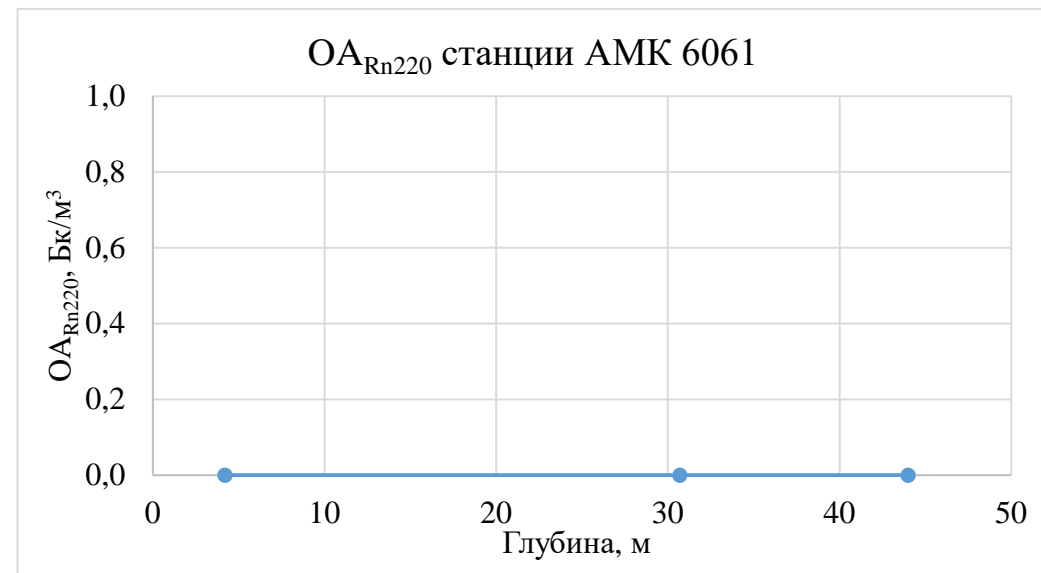
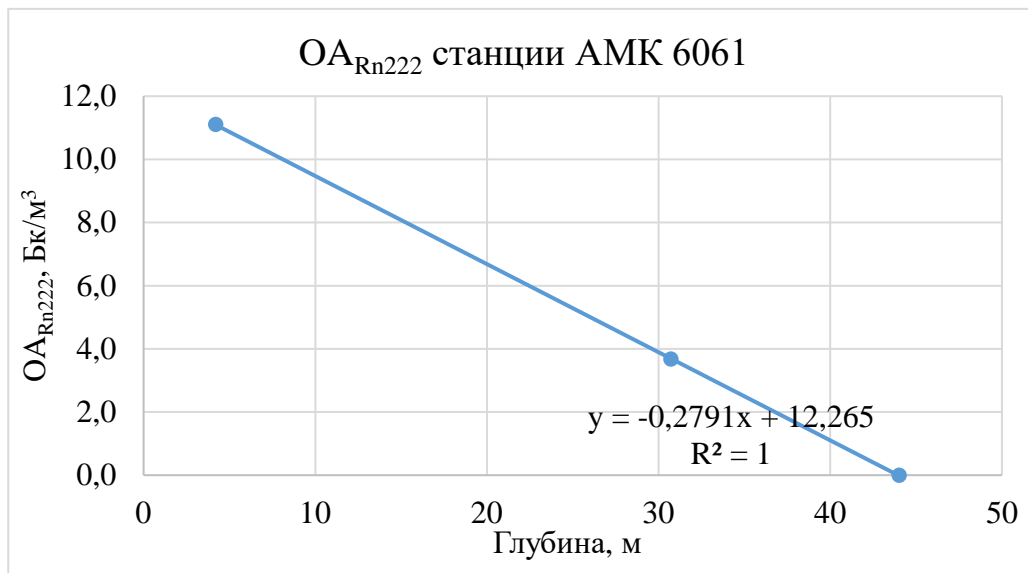


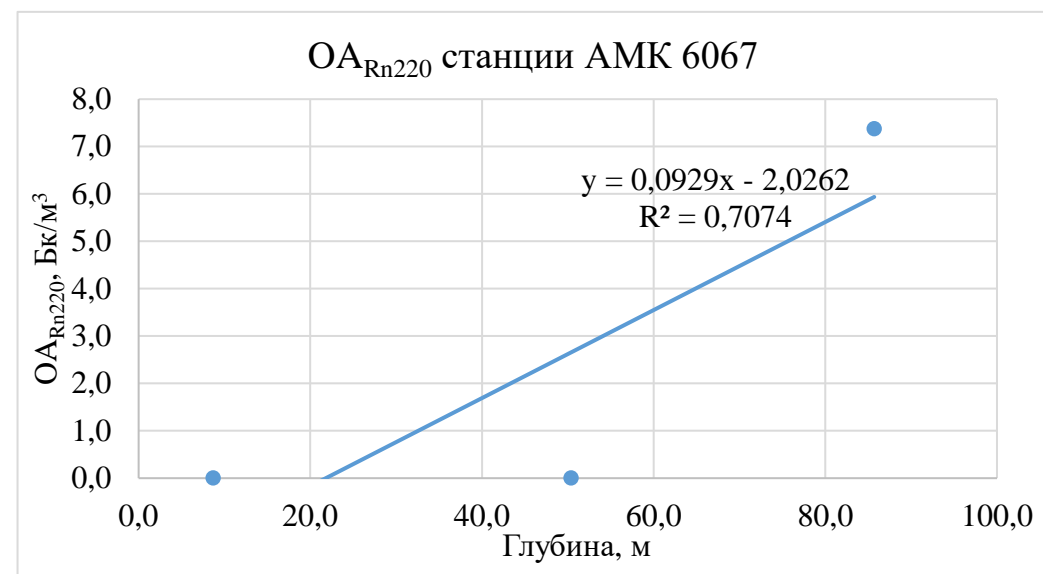
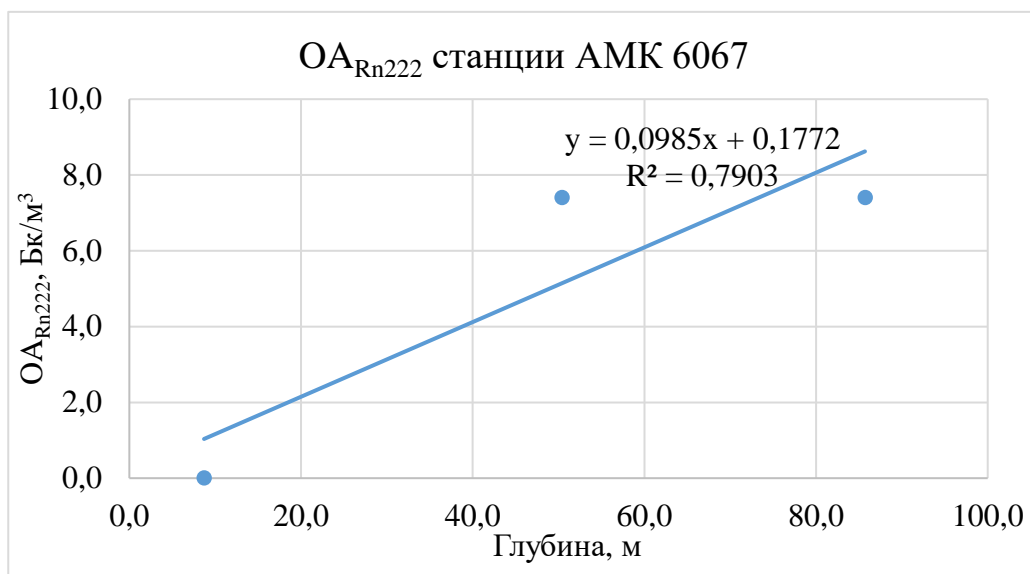
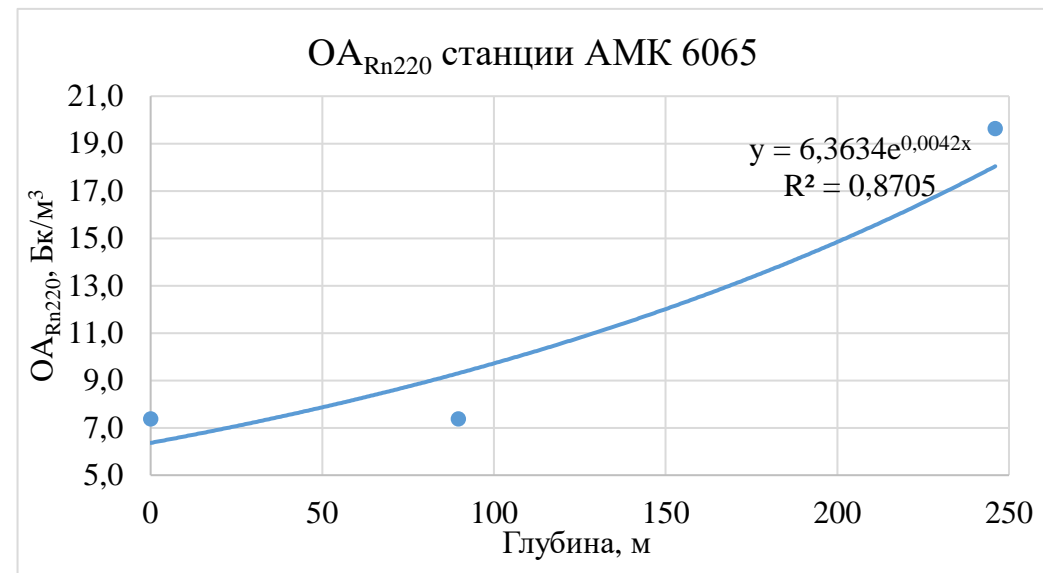
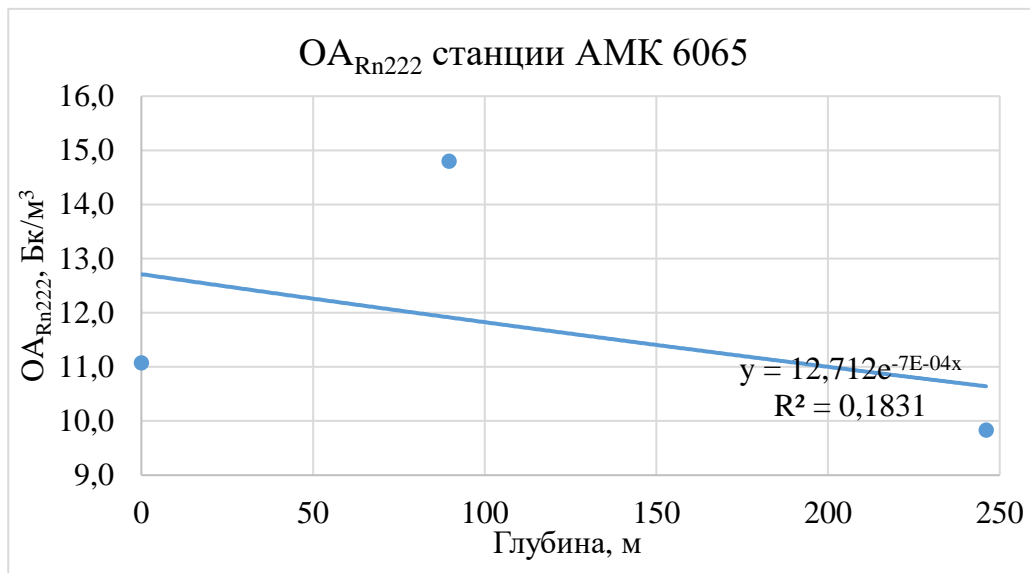


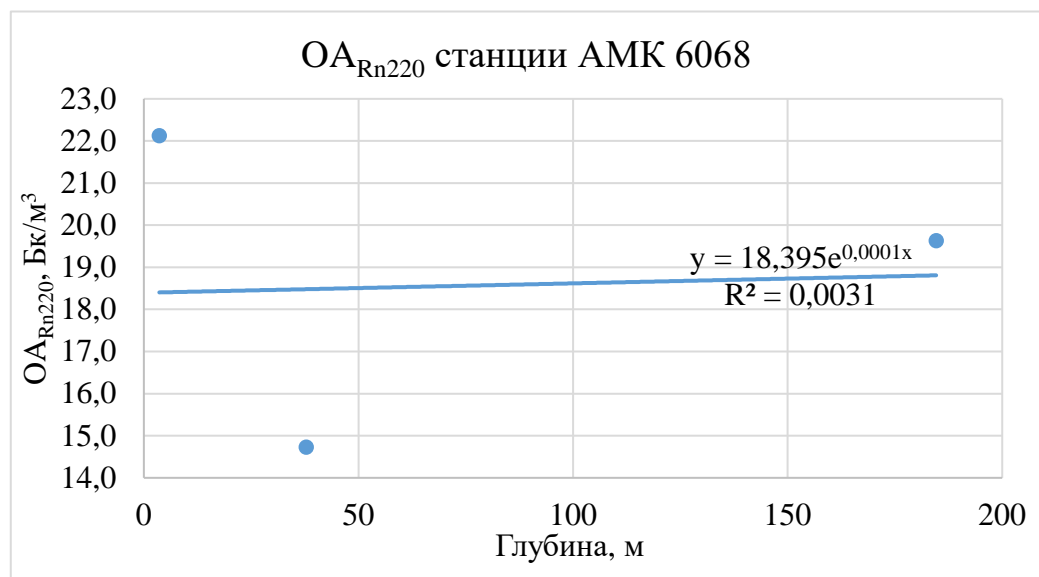
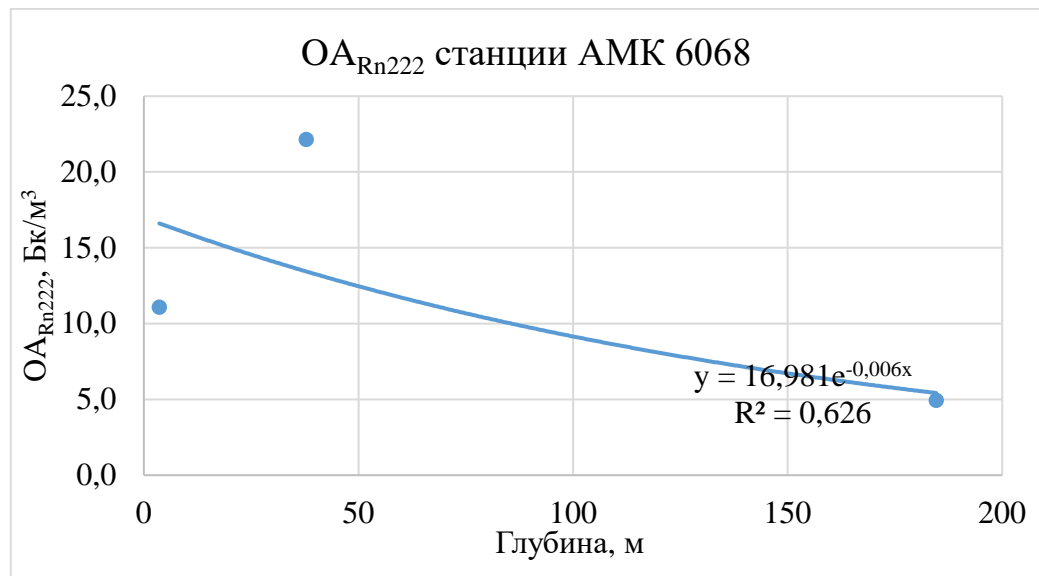




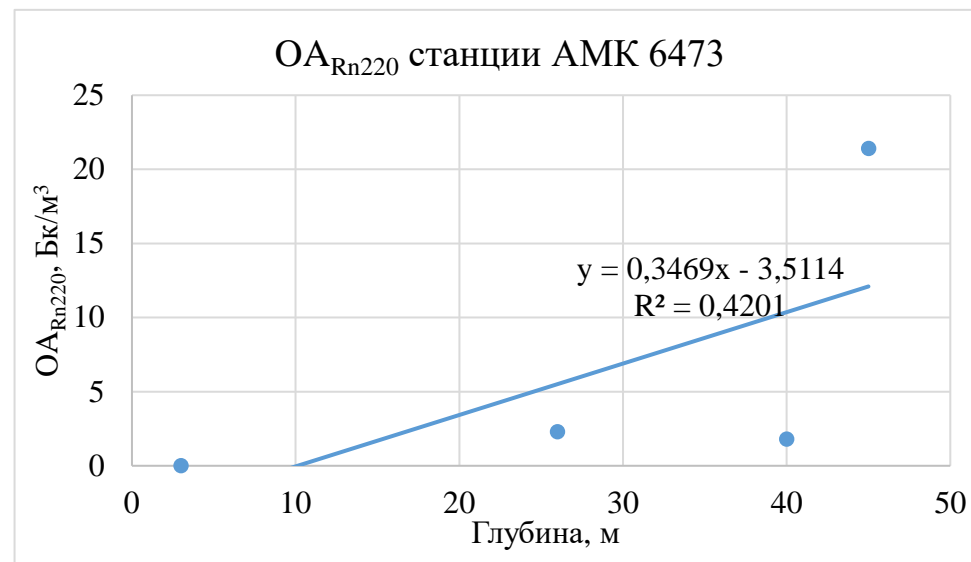
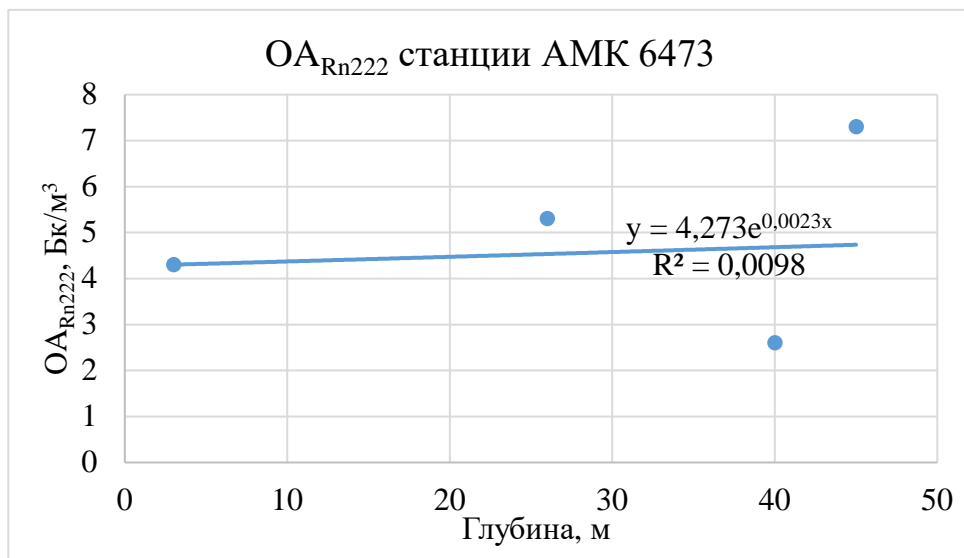
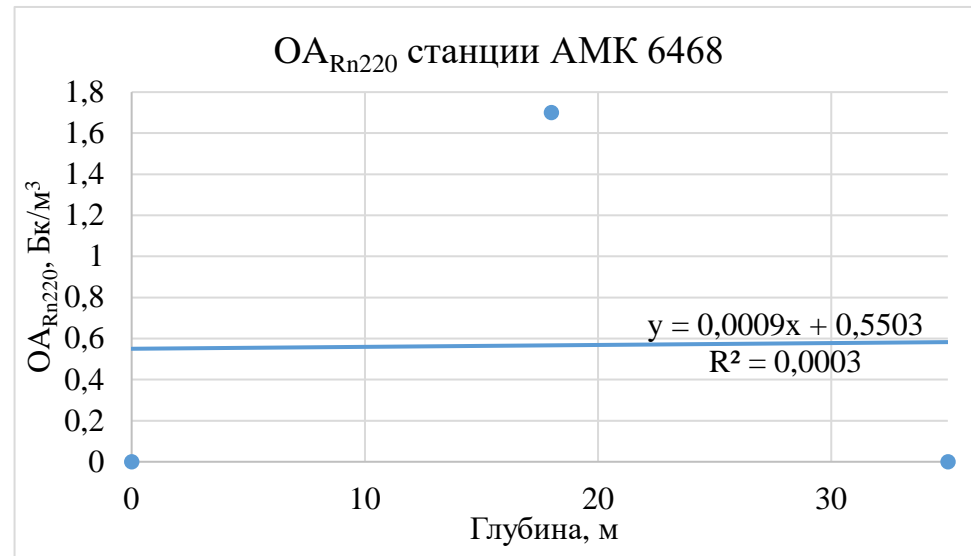
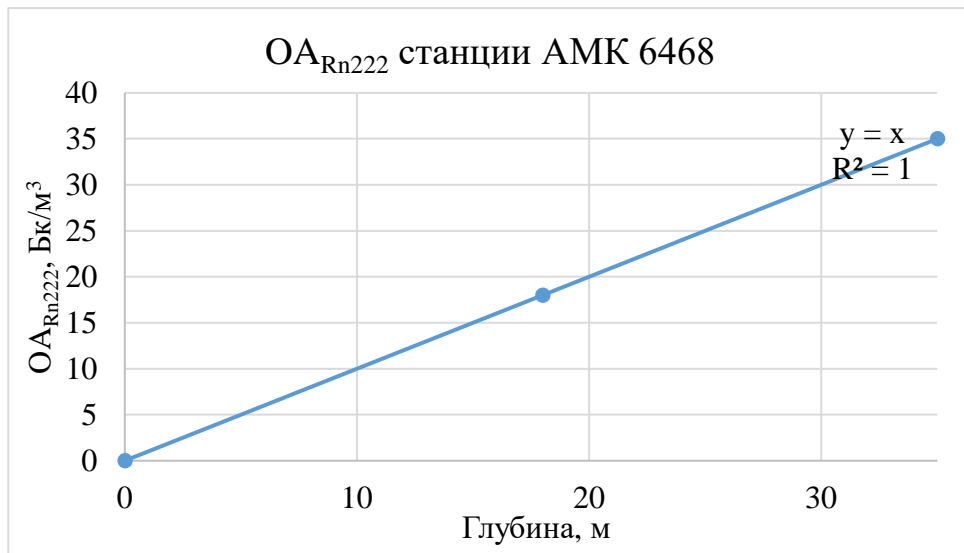


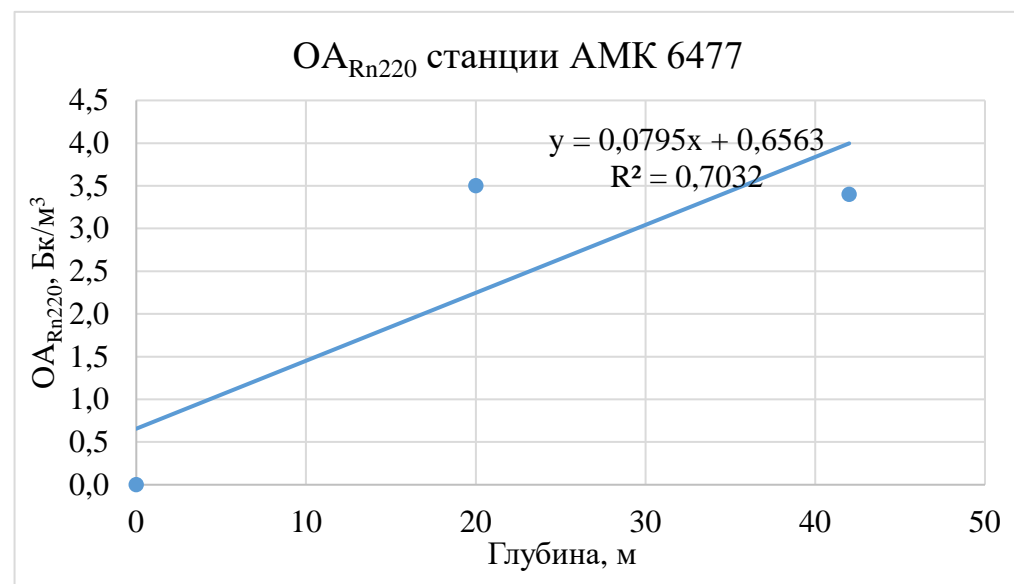
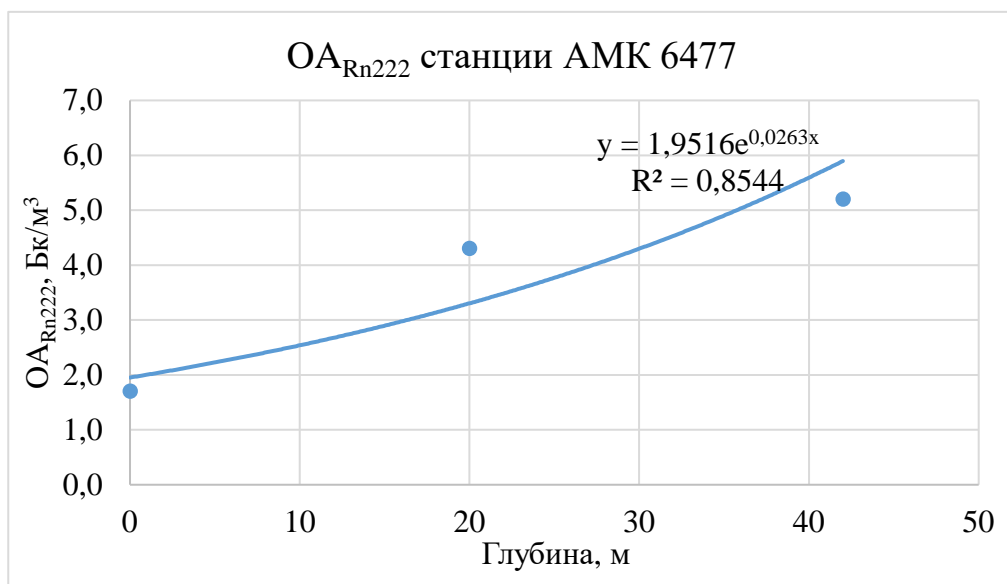
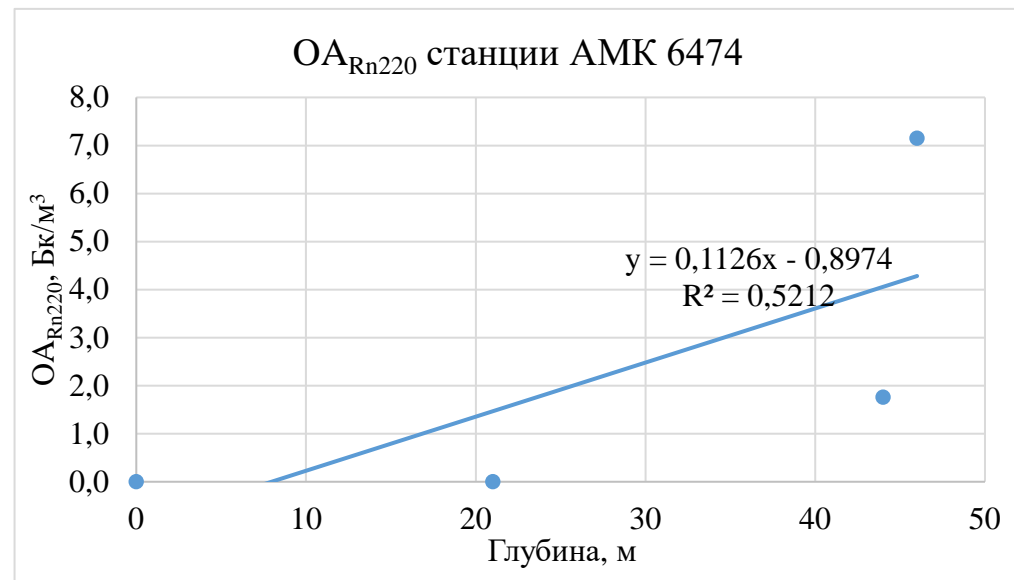
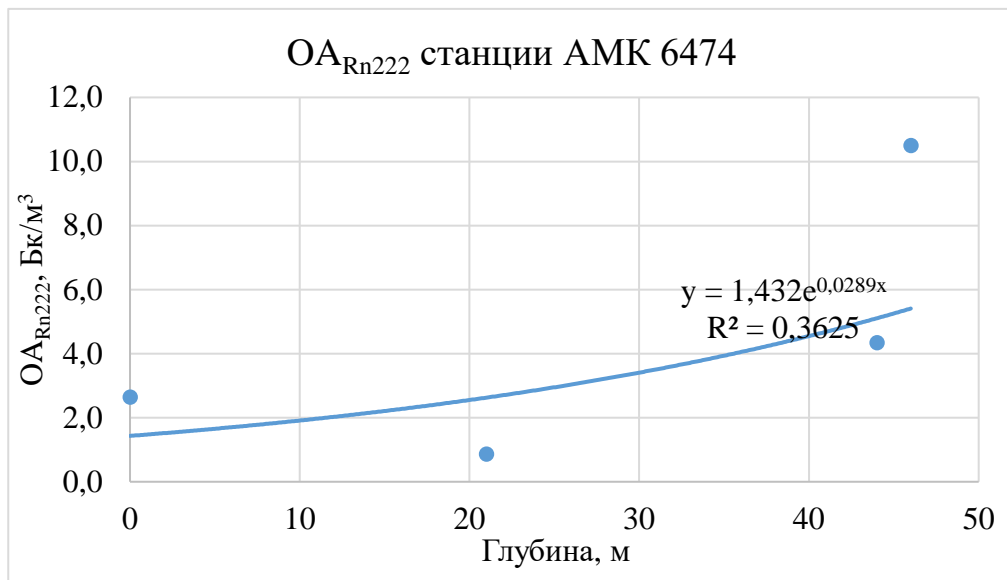


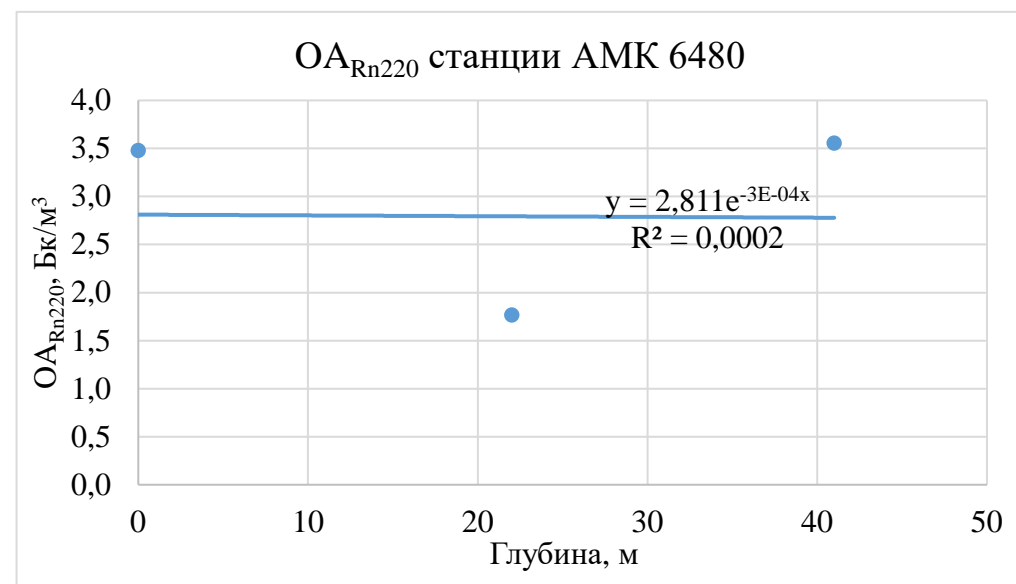
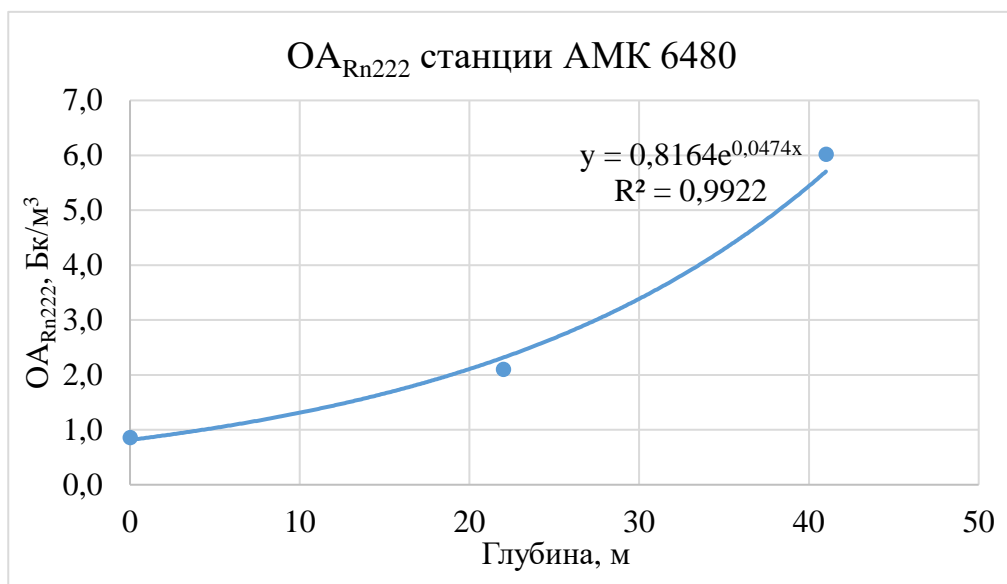
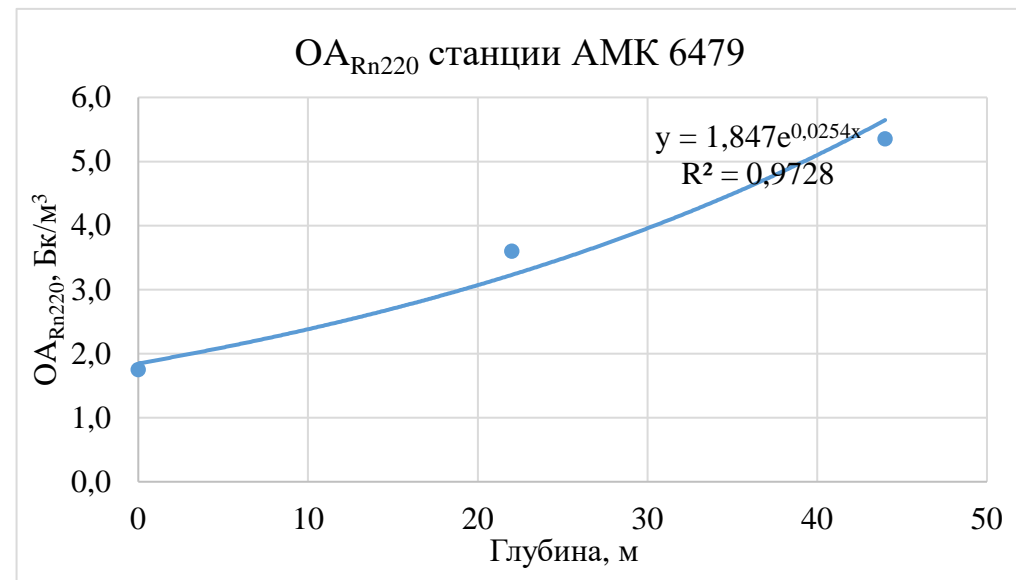
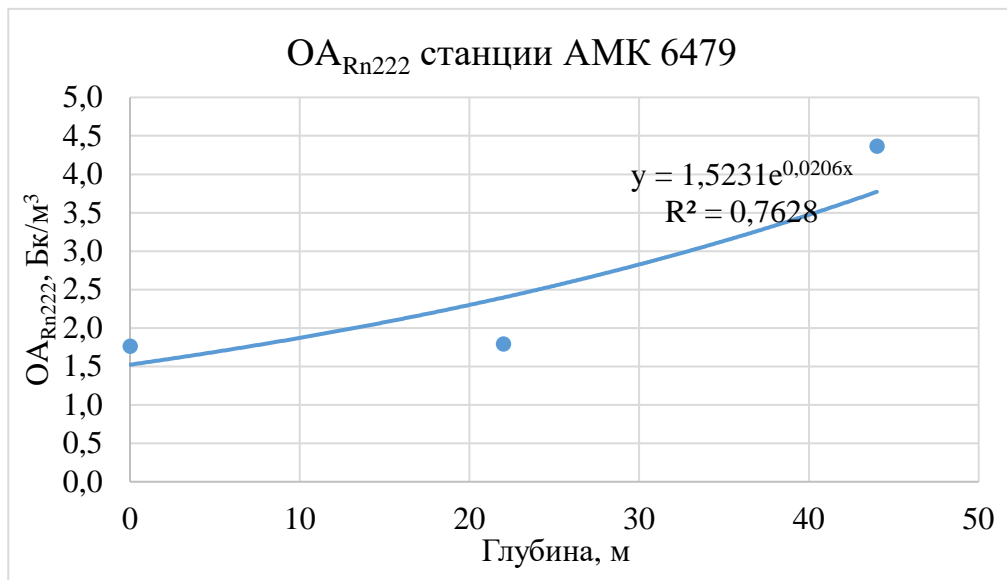


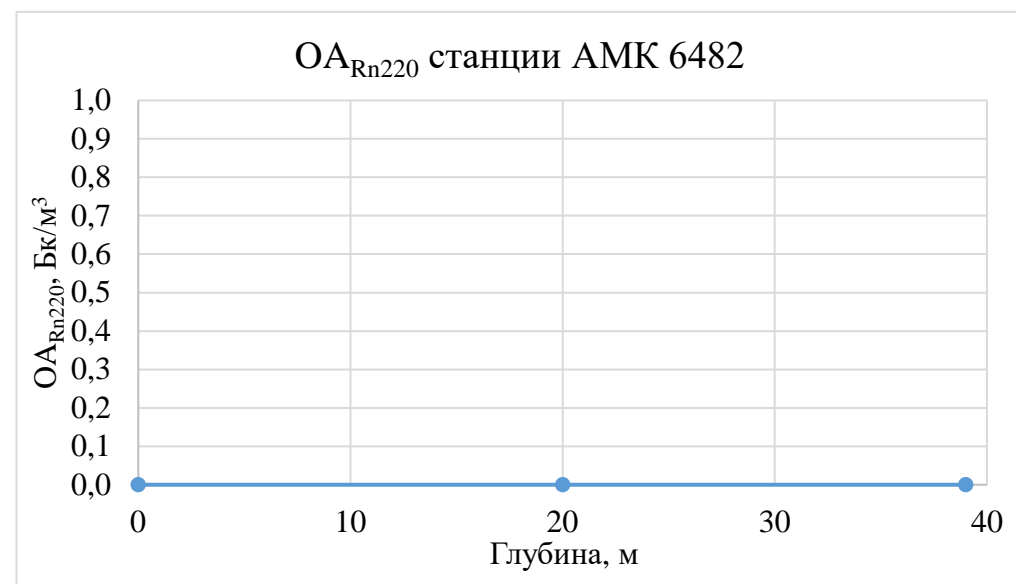
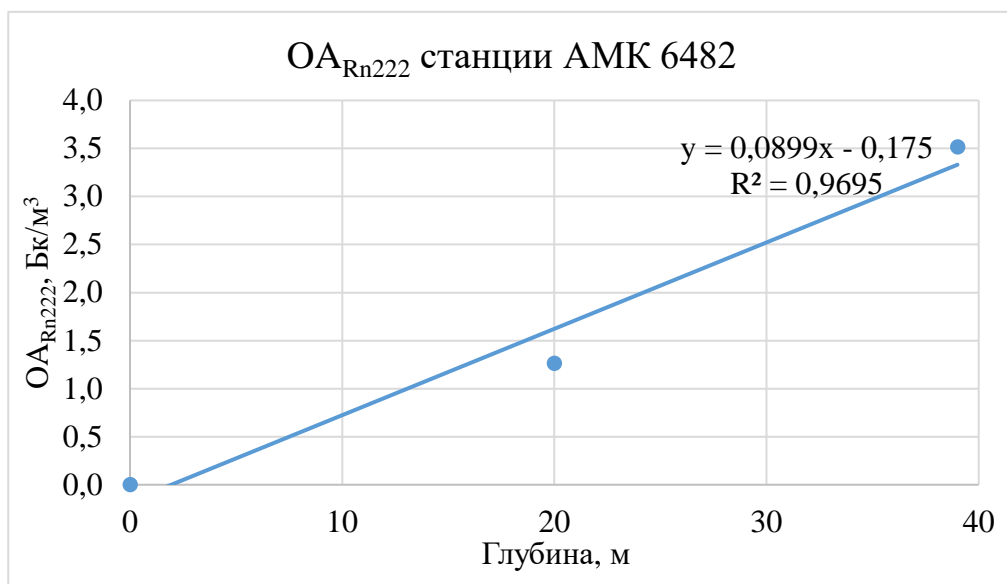
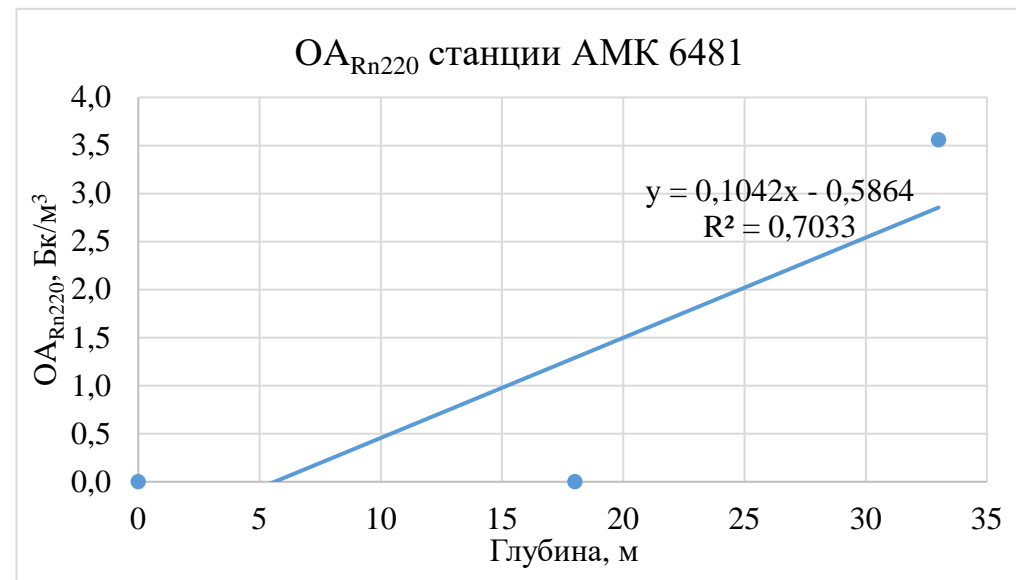
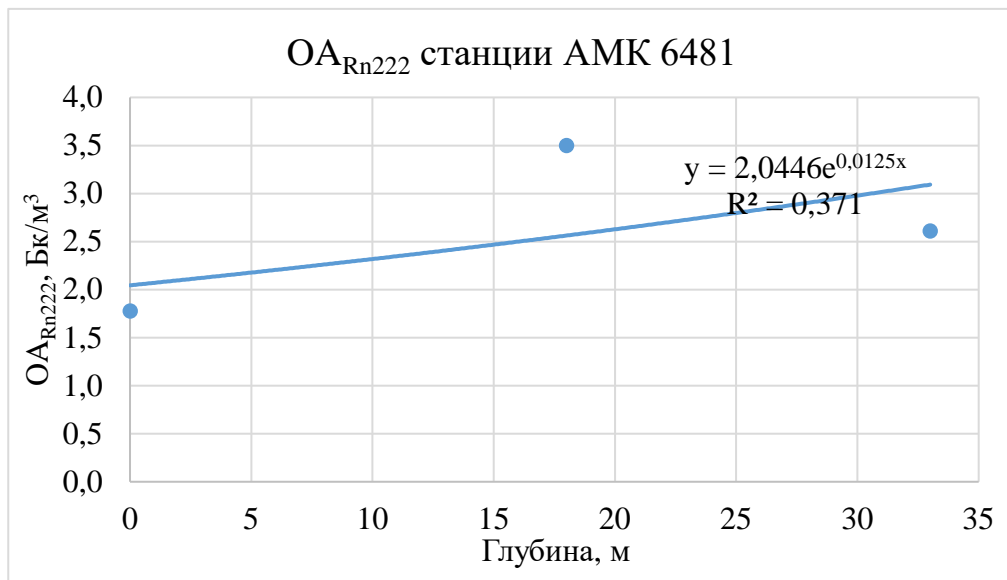


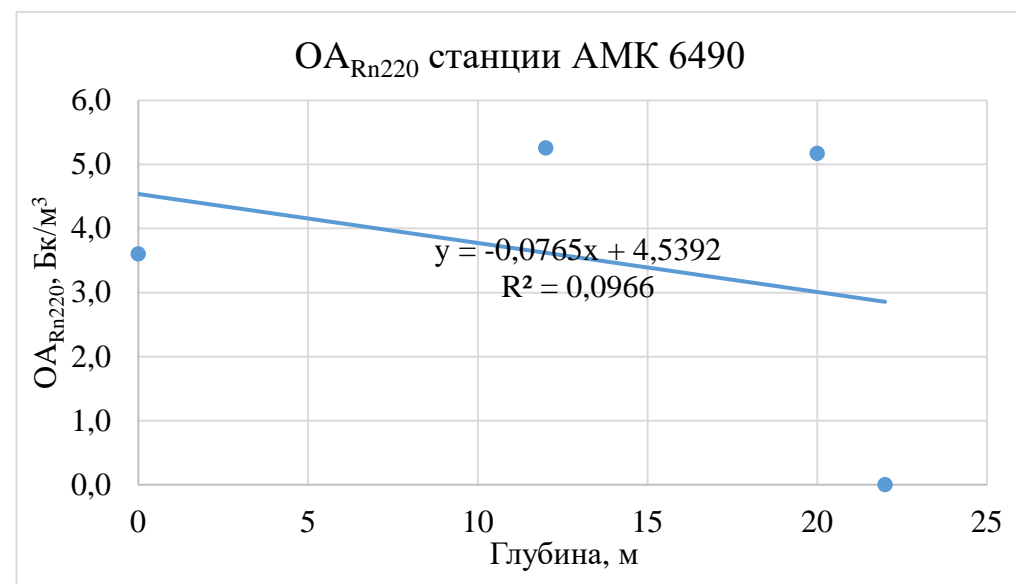
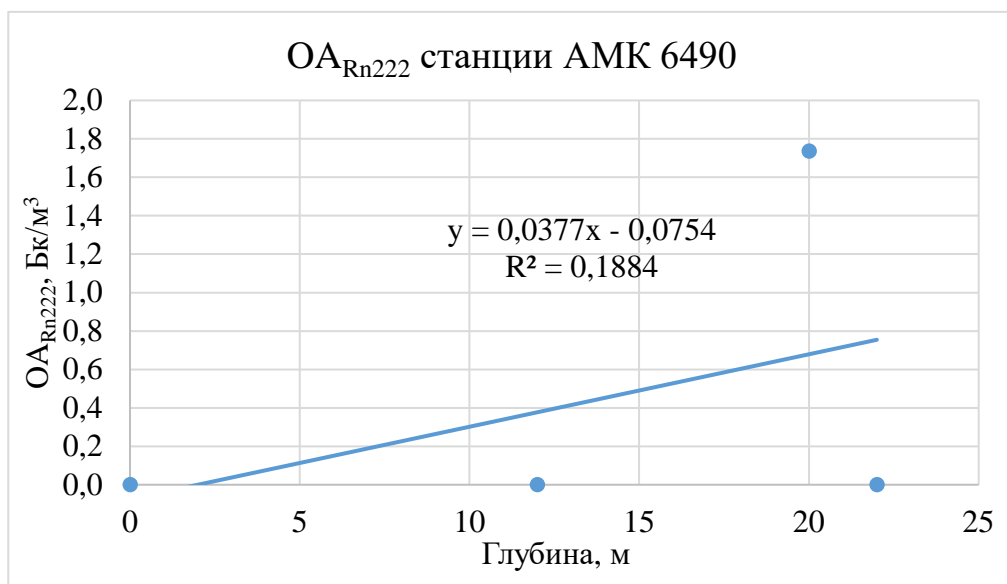
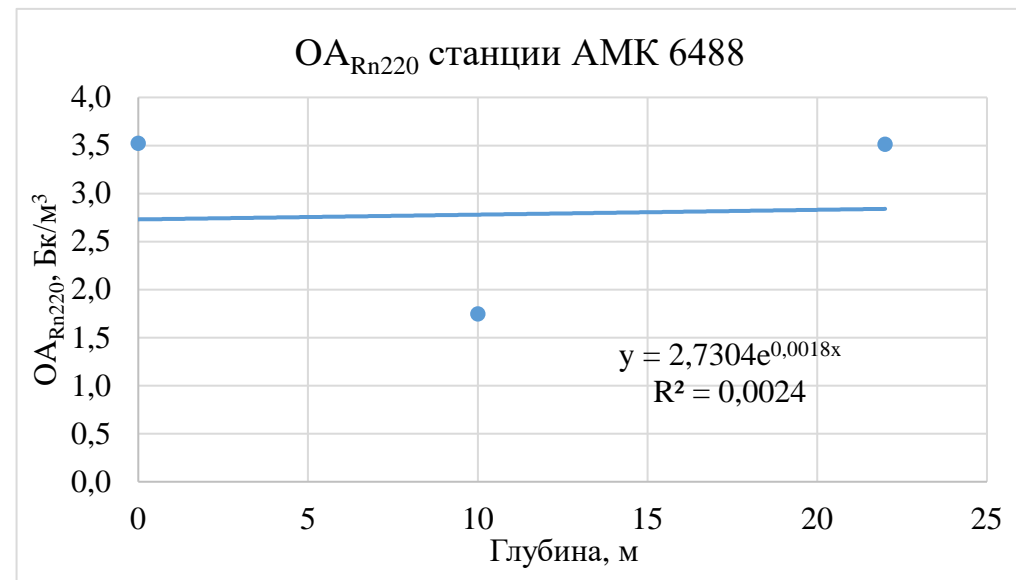
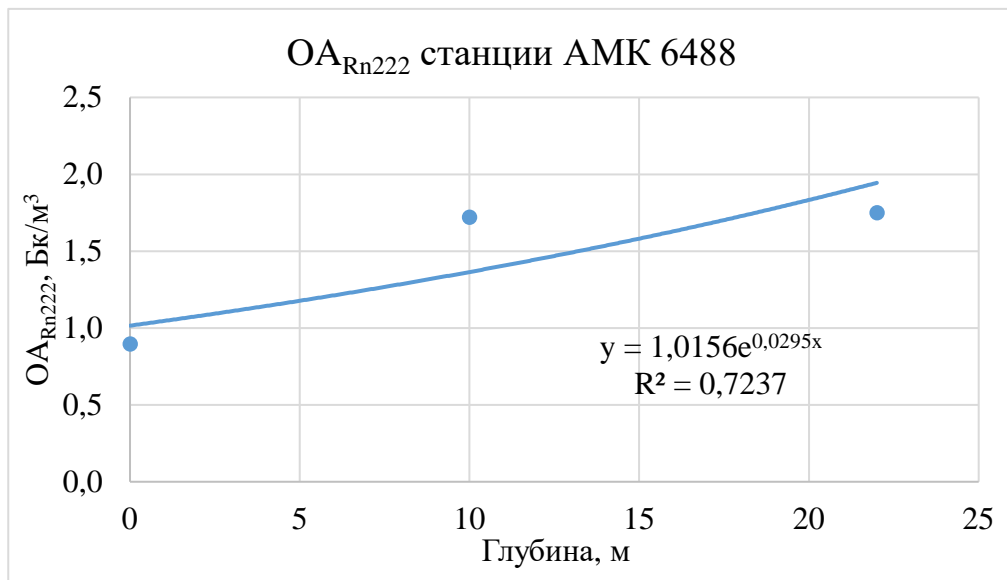
Приложение В (графики зависимости ОА радона и торона от глубины в 2019 году)

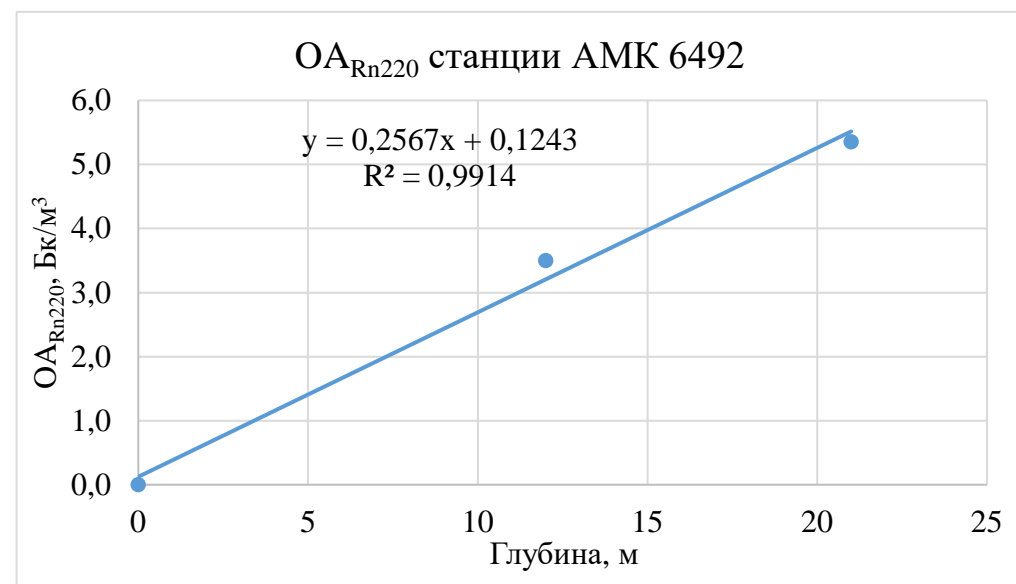
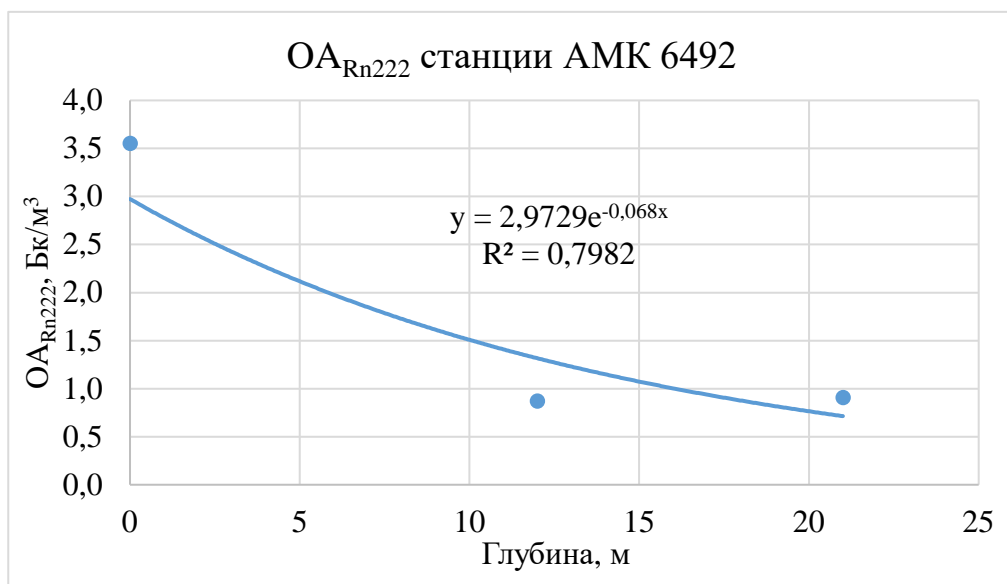
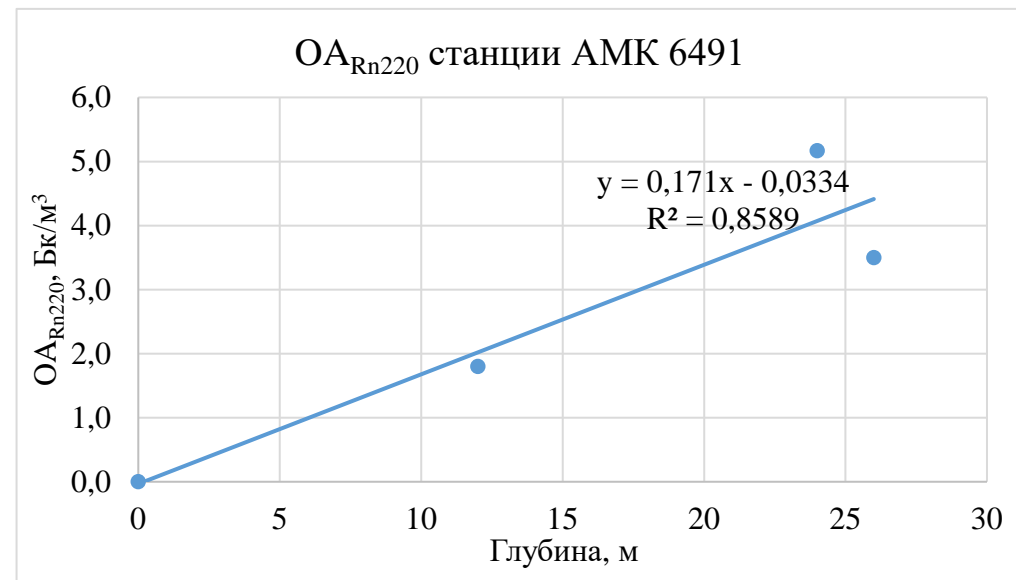
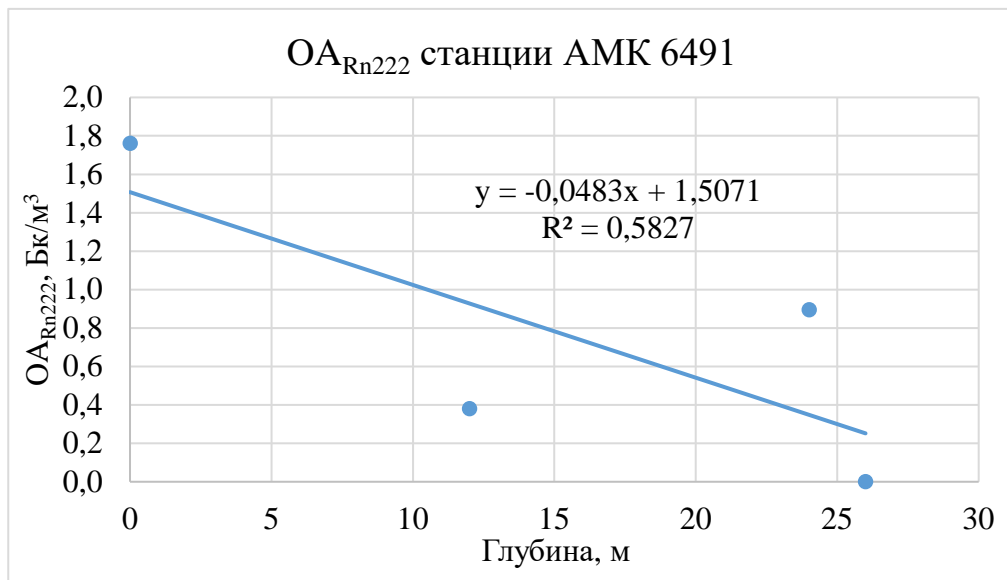


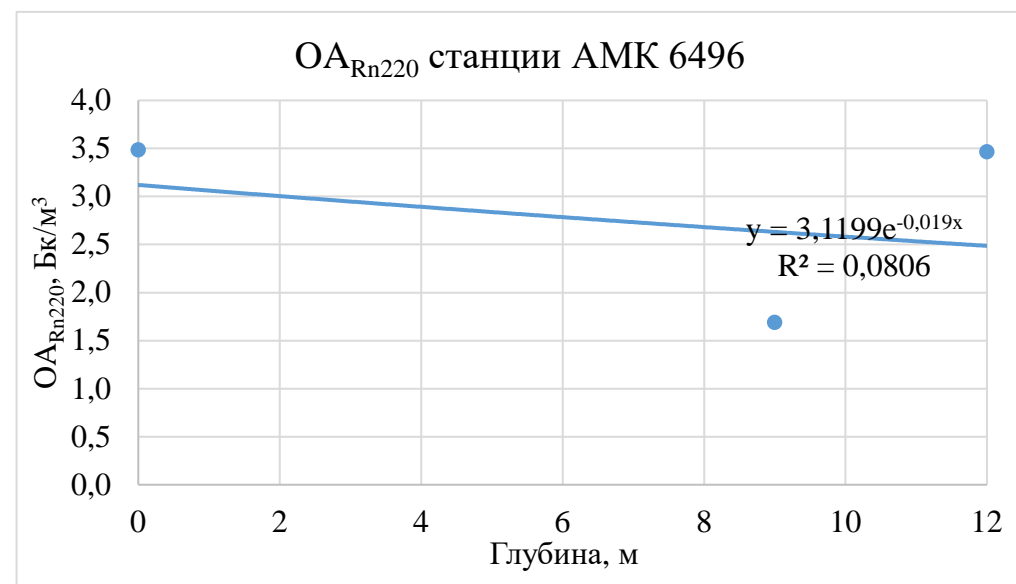
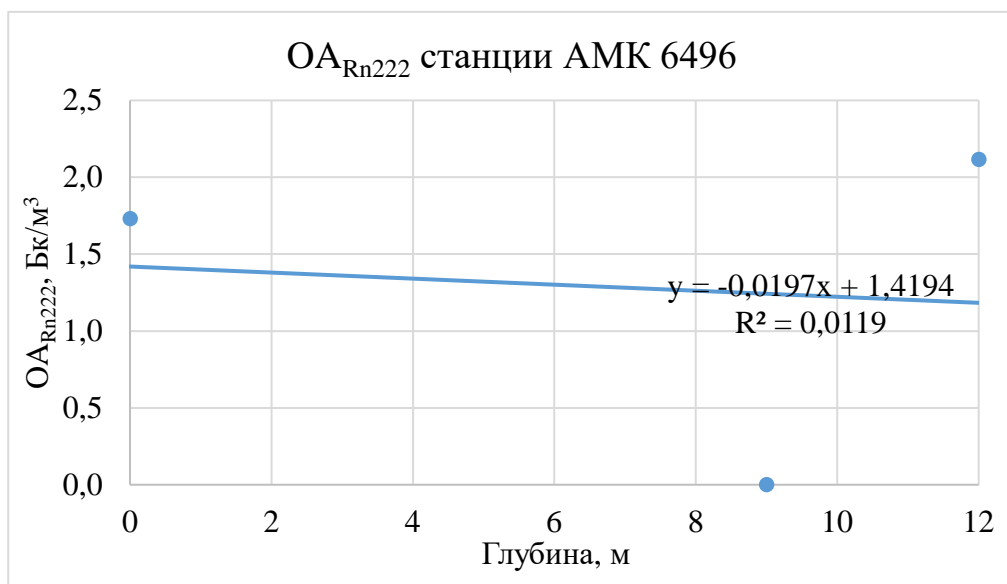
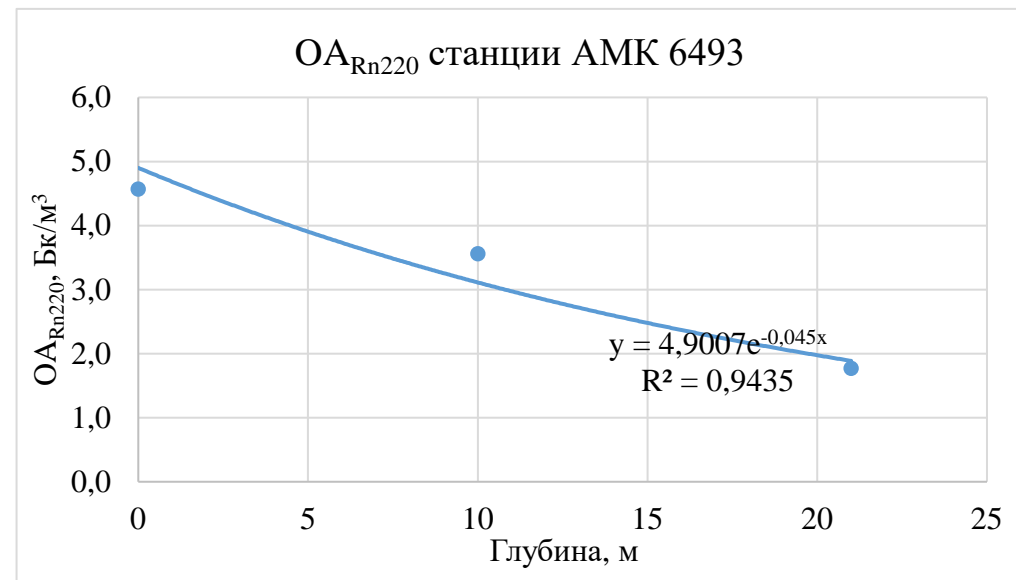
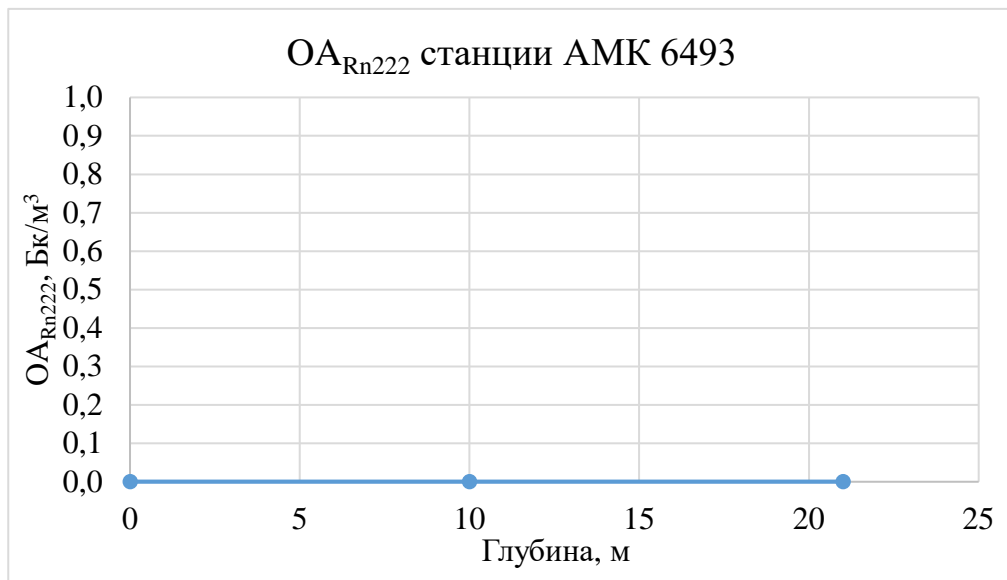


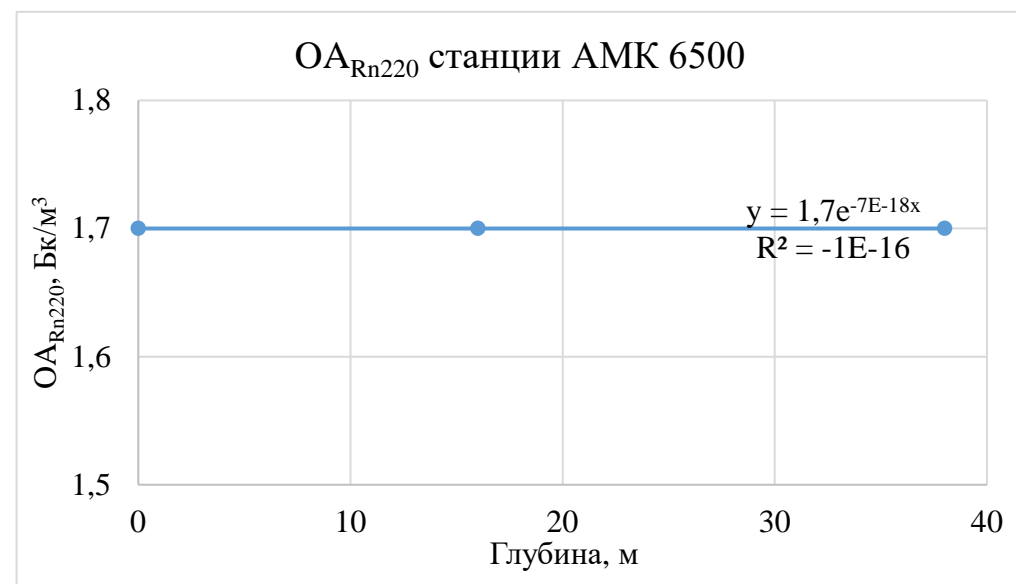
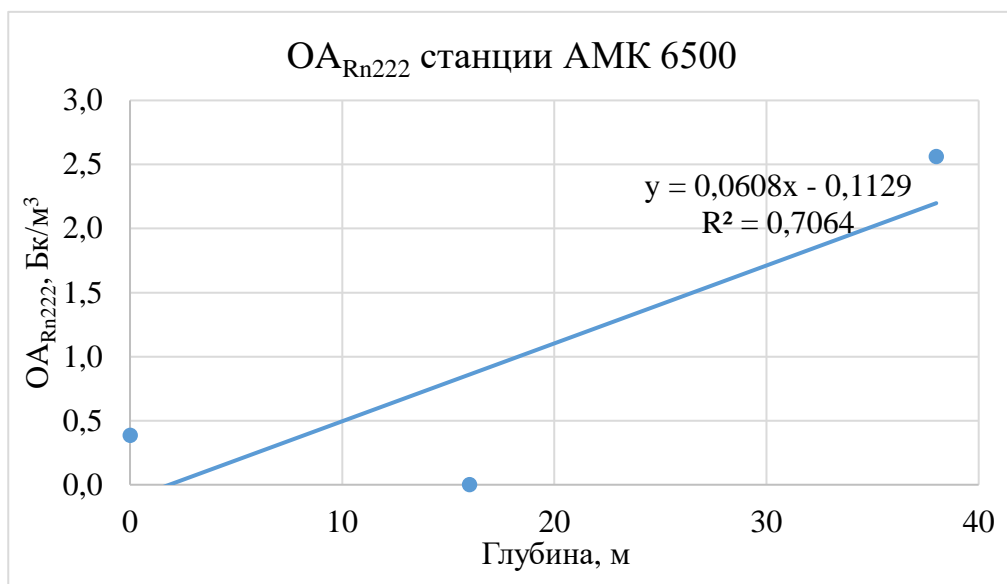
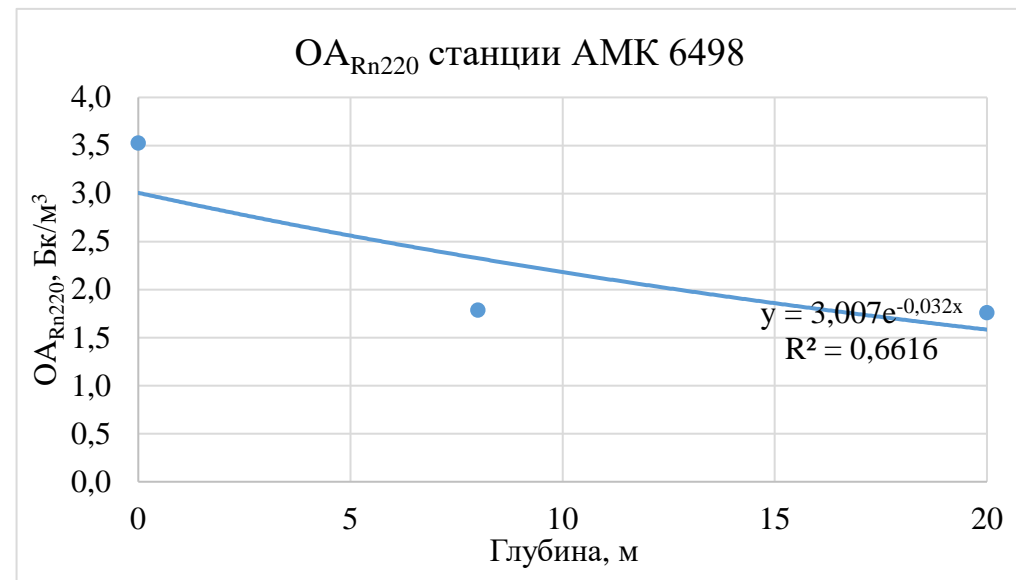
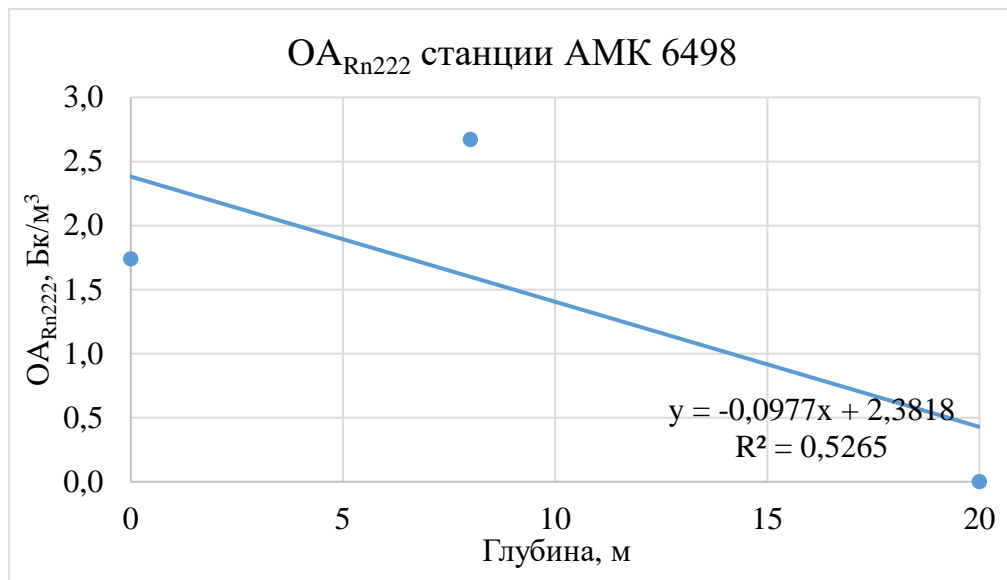


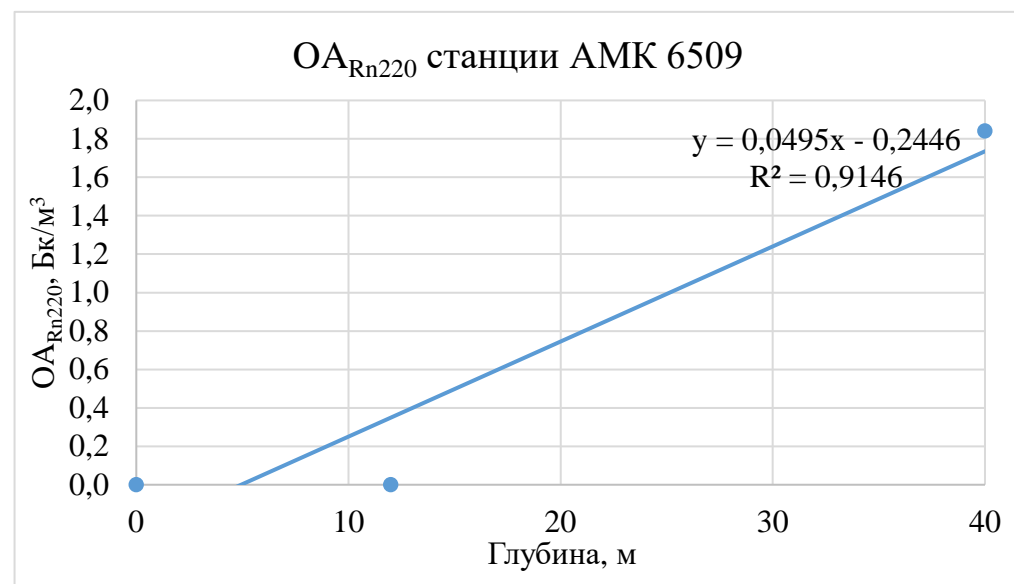
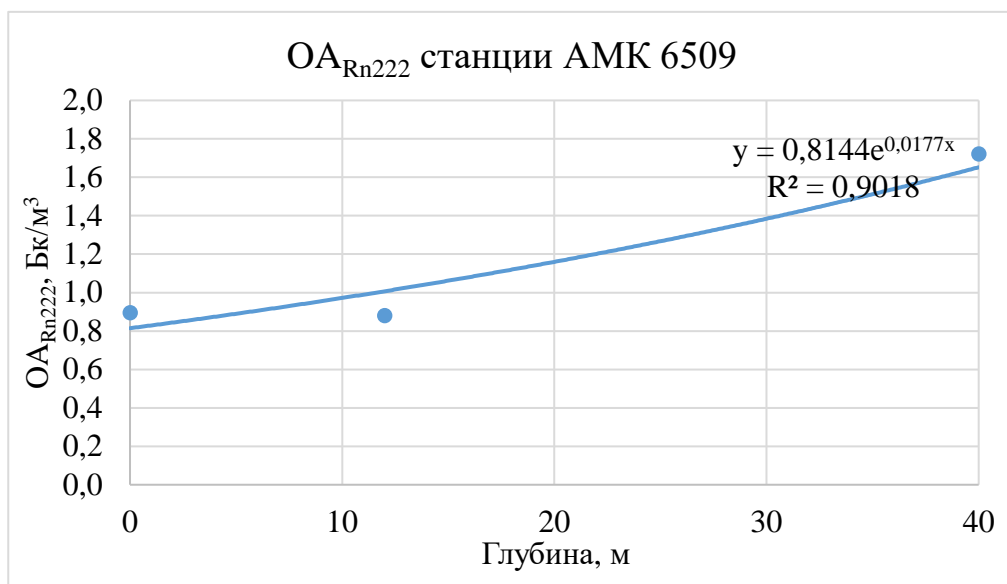
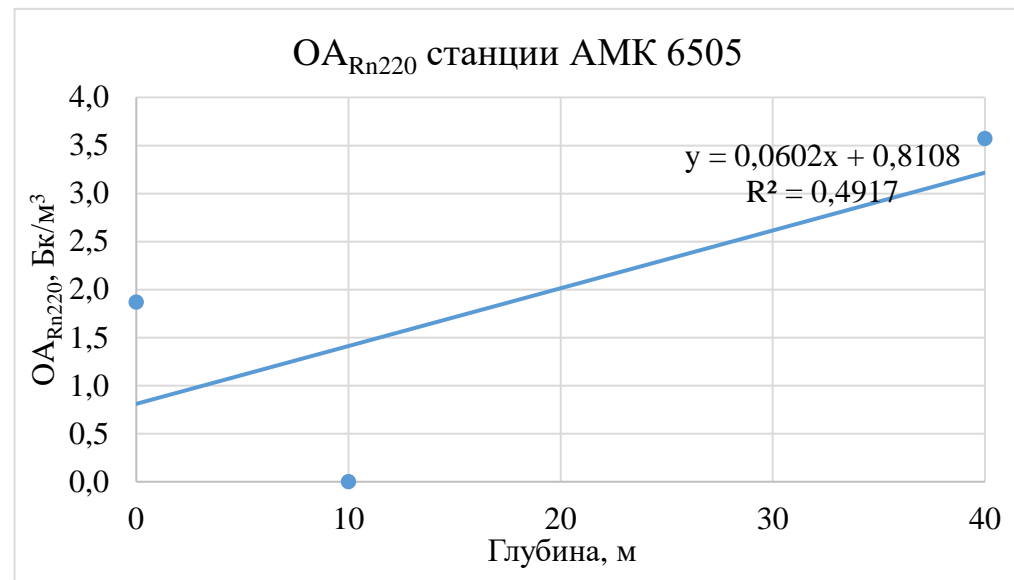
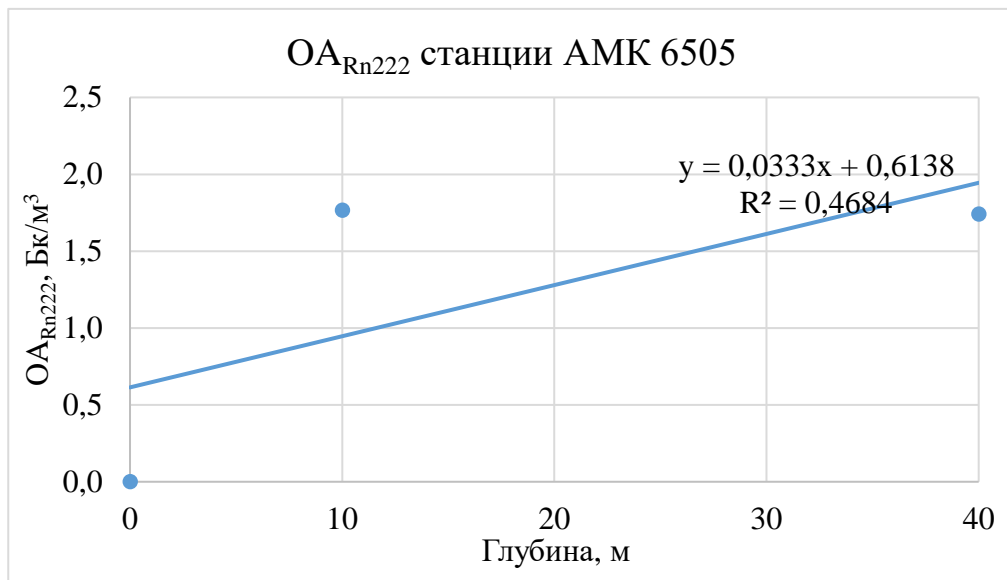


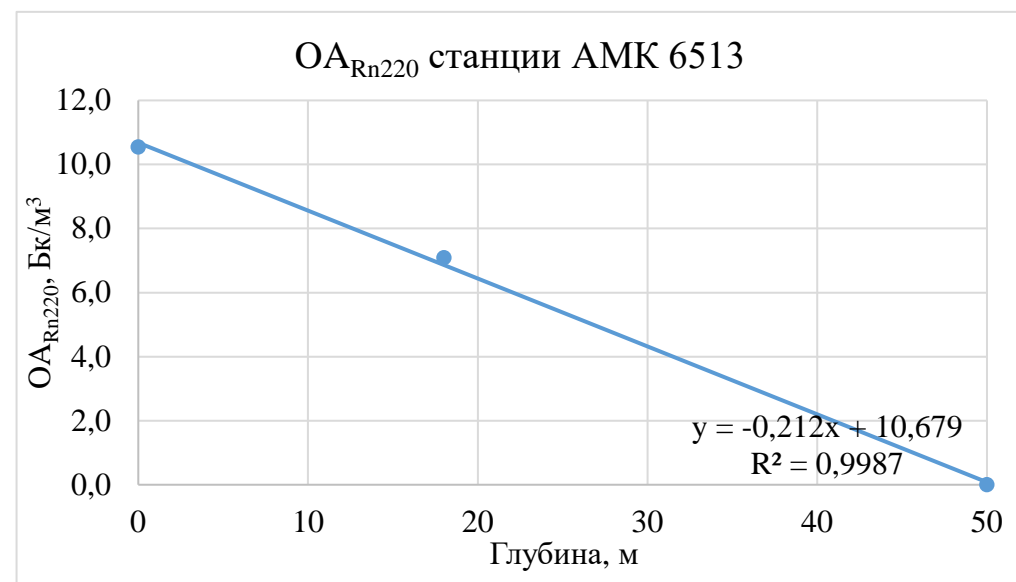
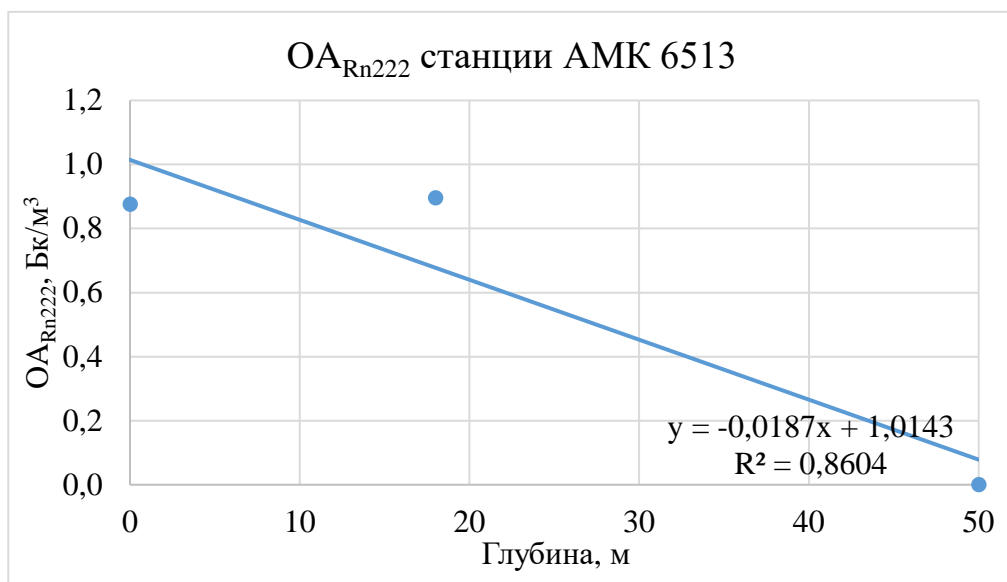
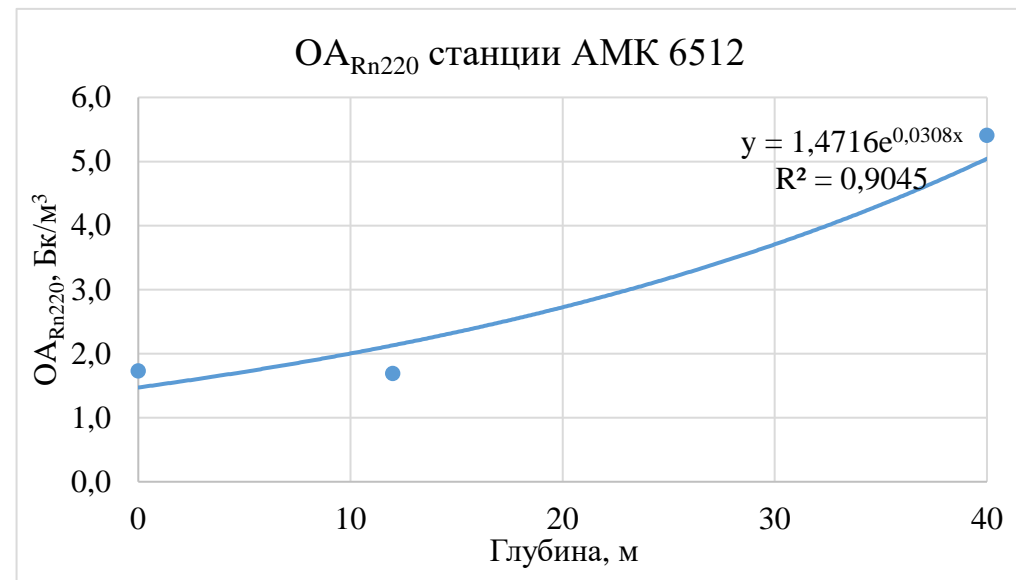
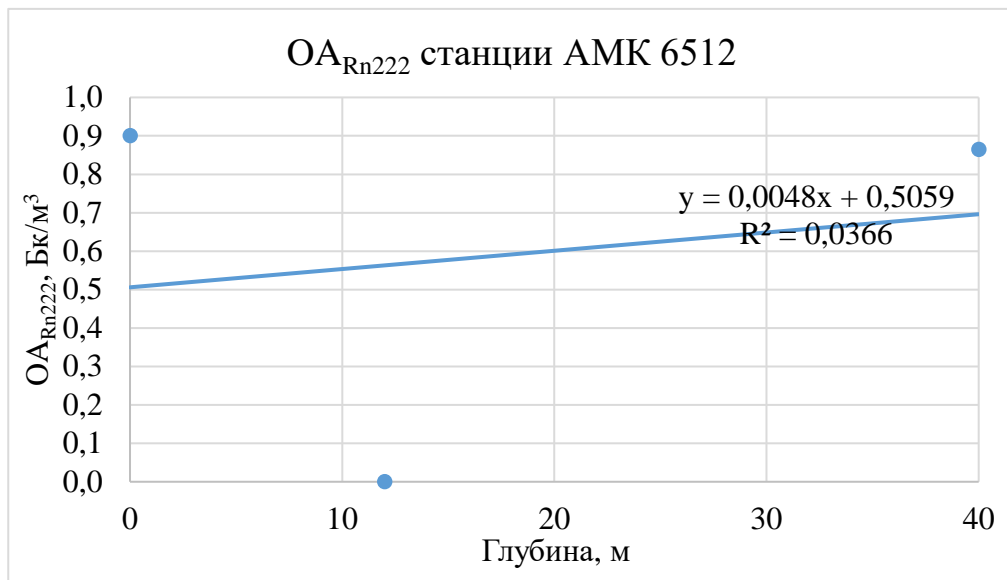


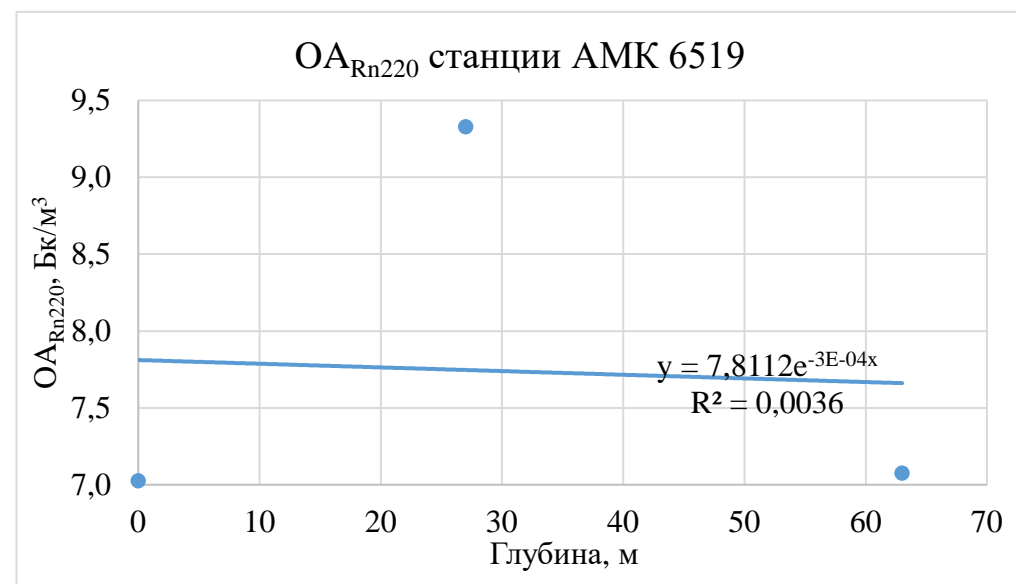
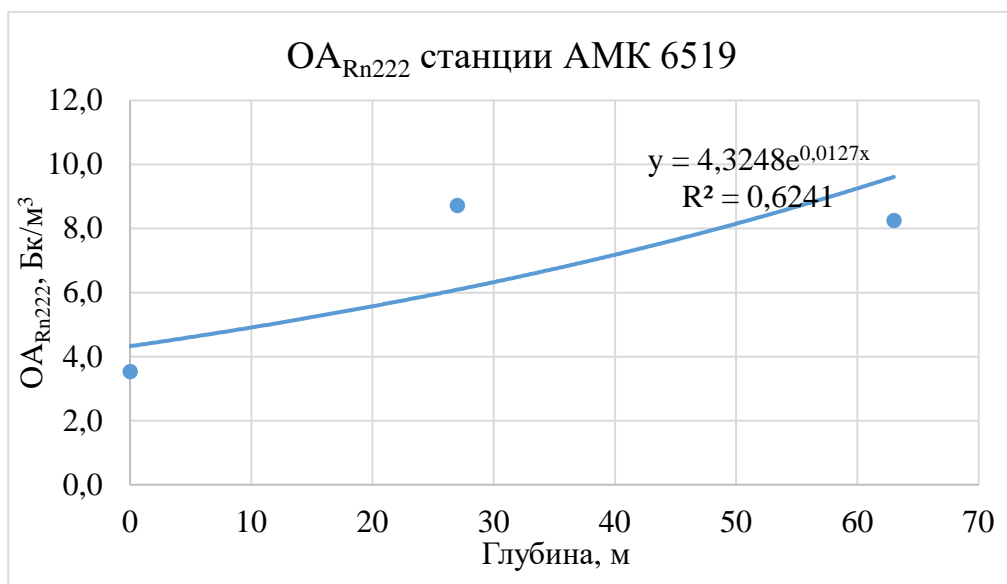
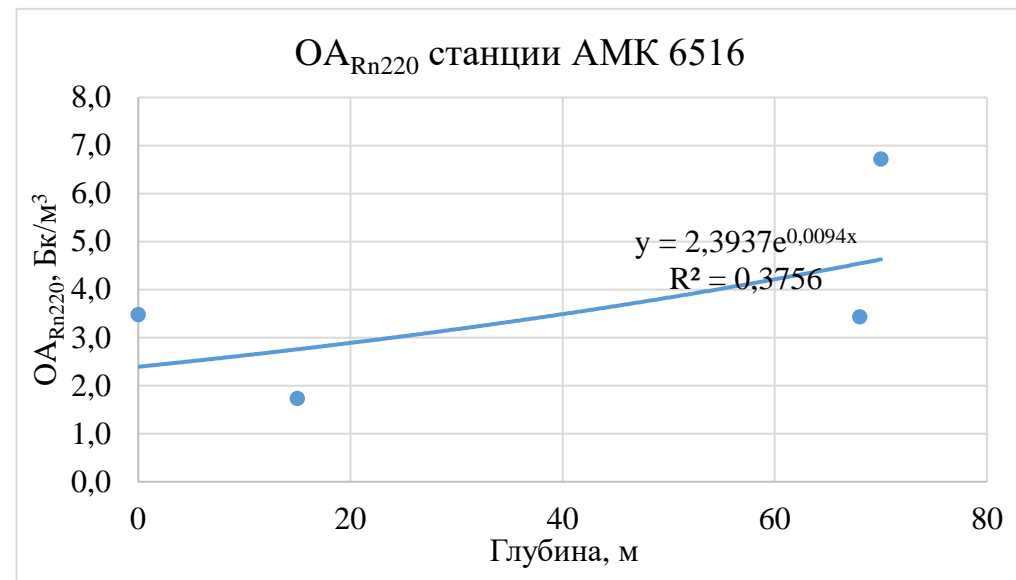
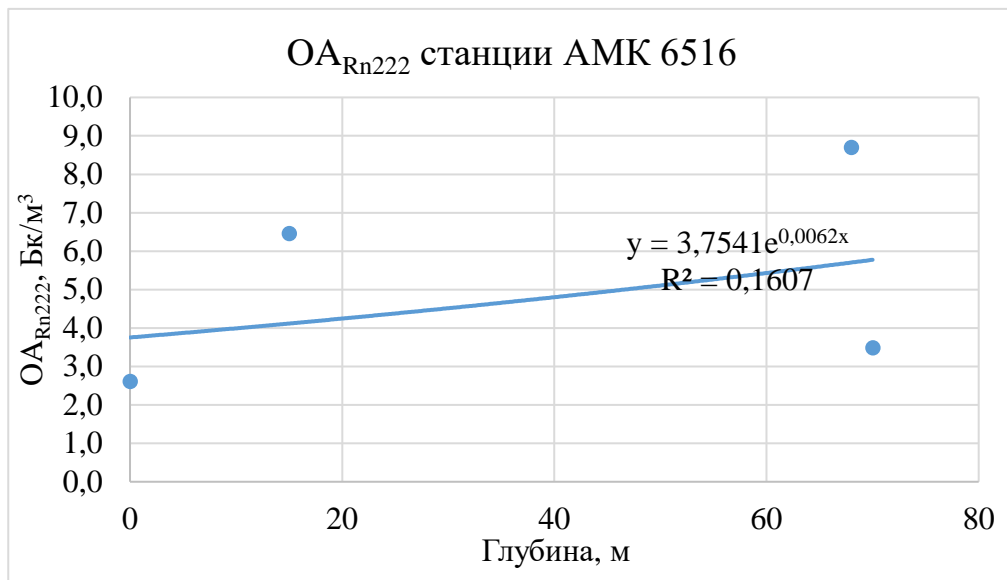


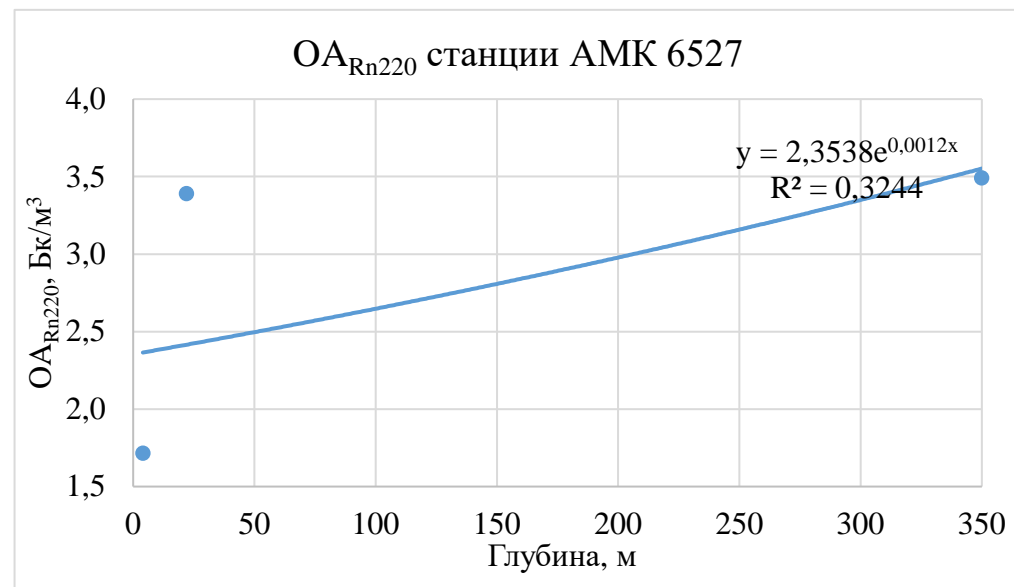
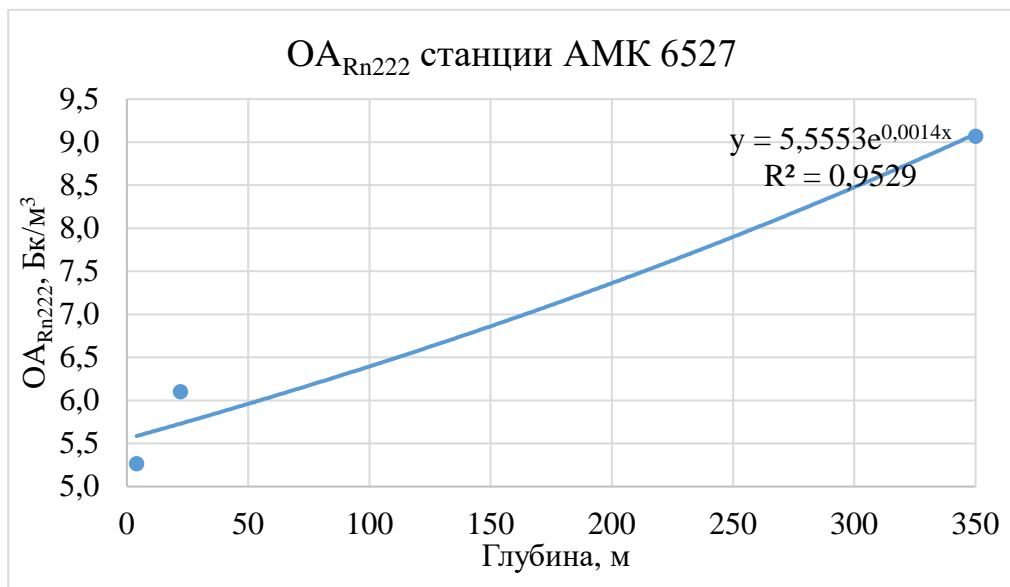
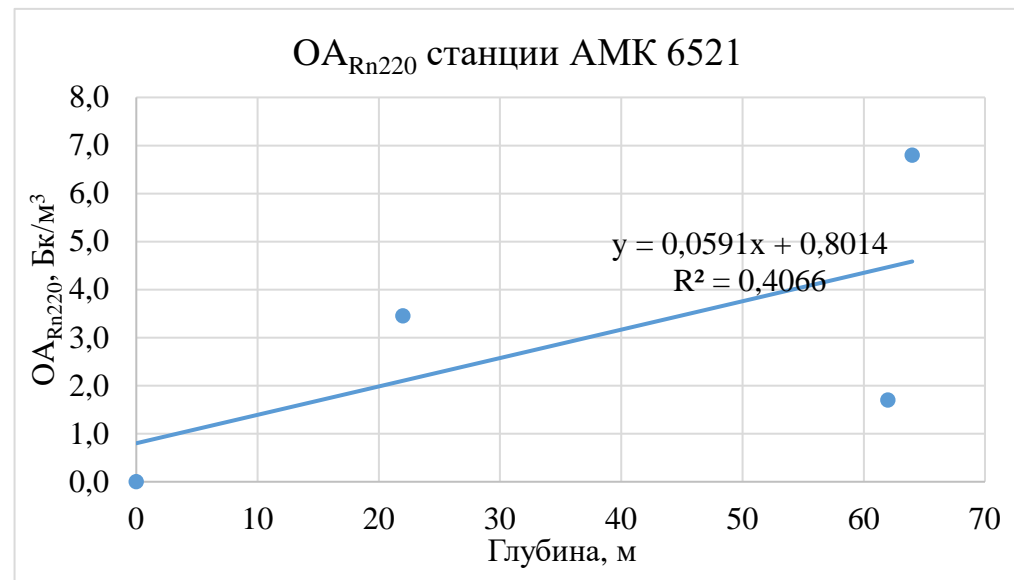
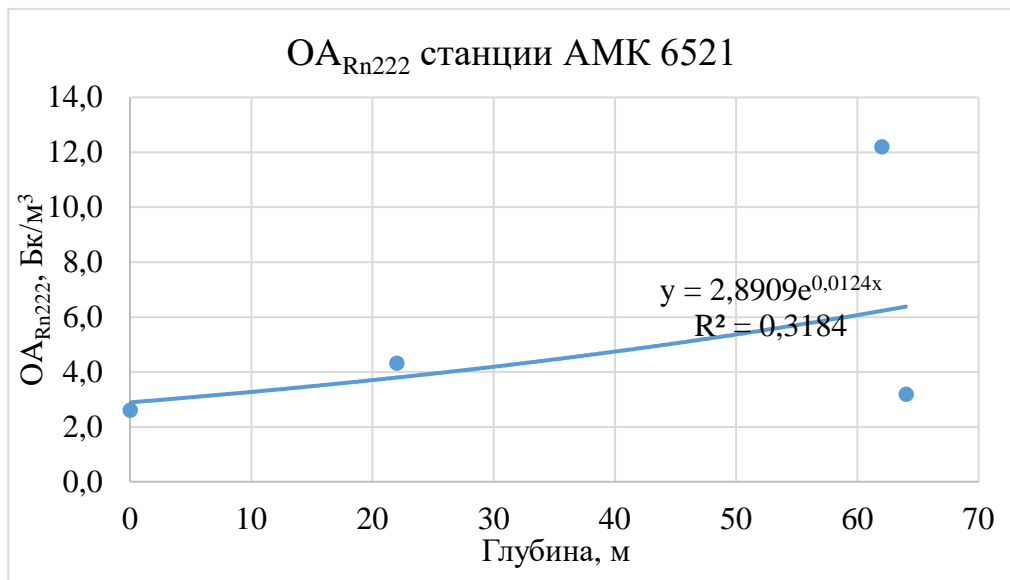


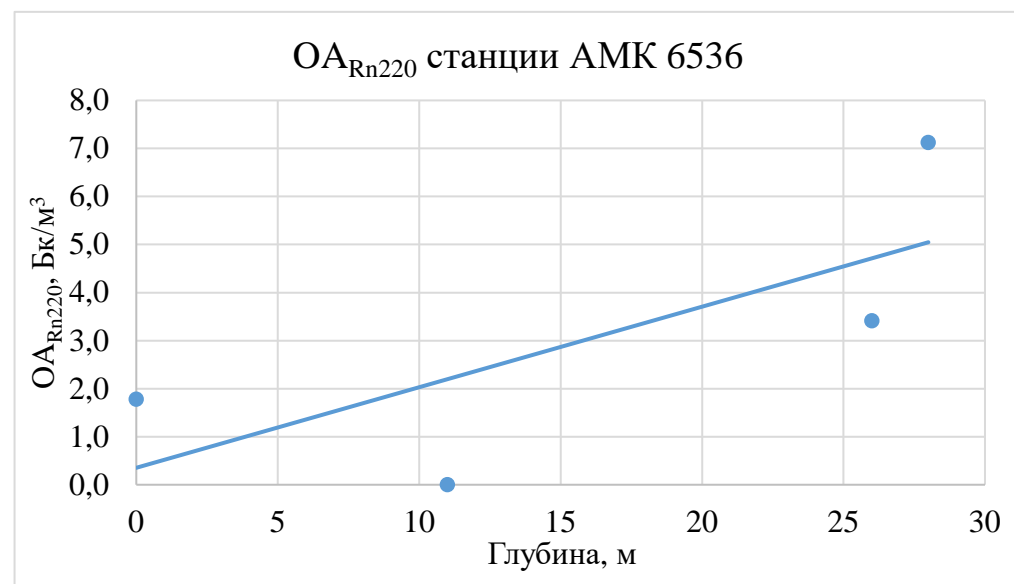
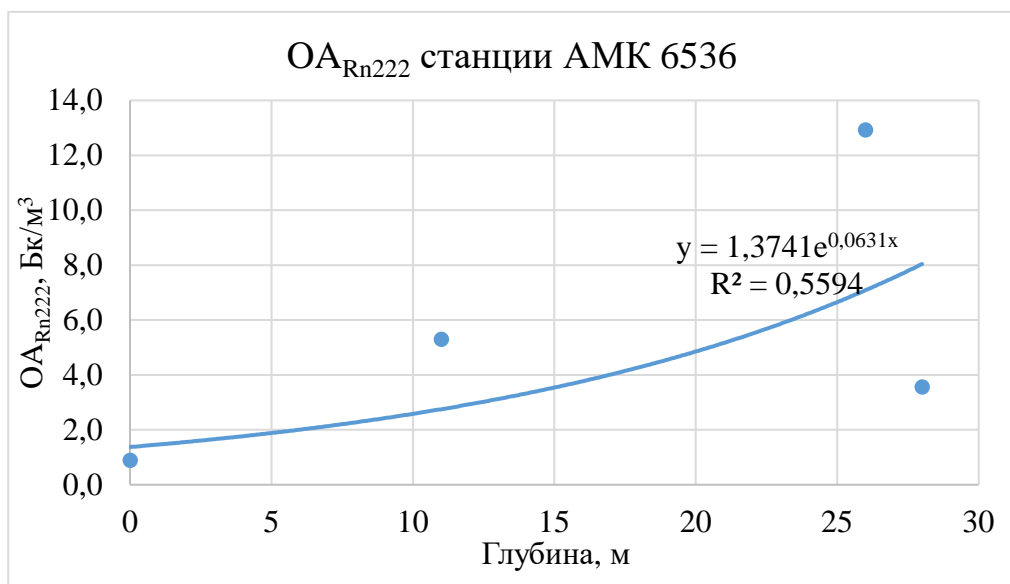
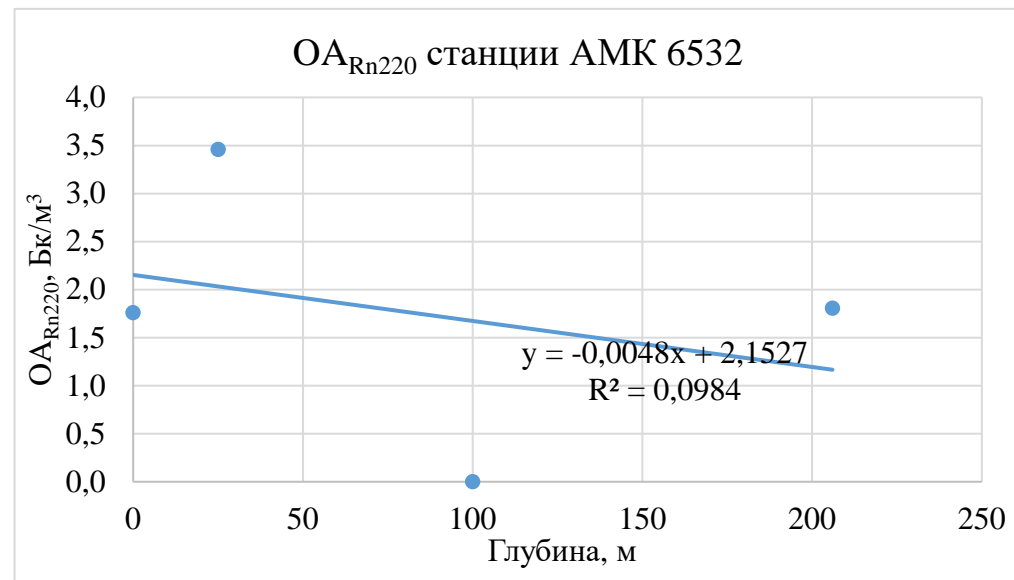
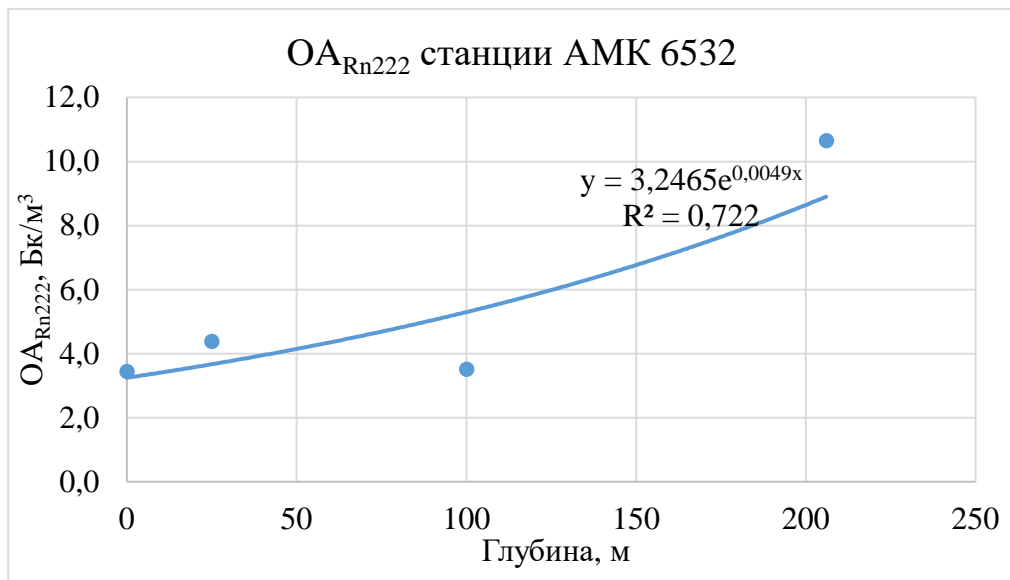


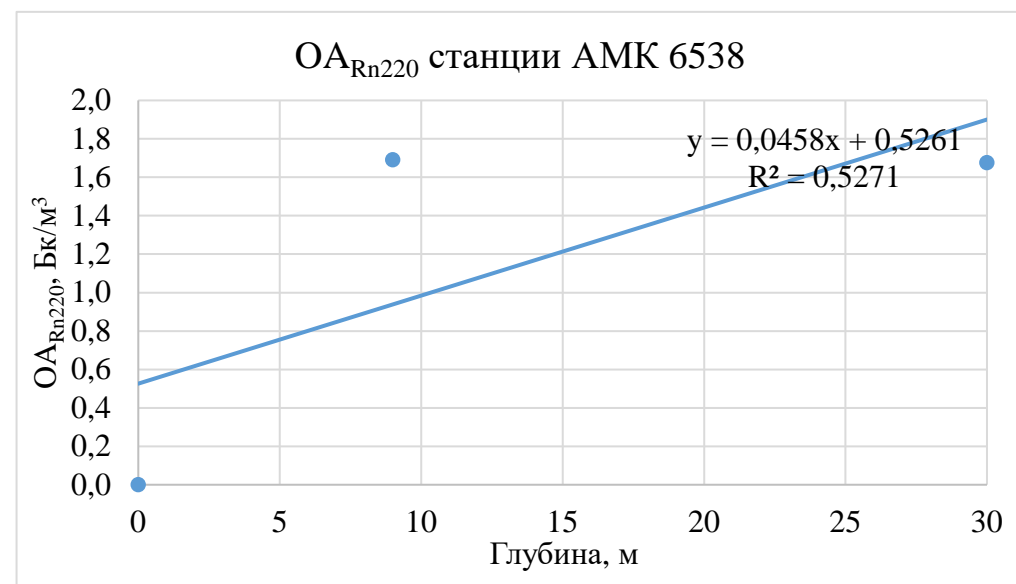
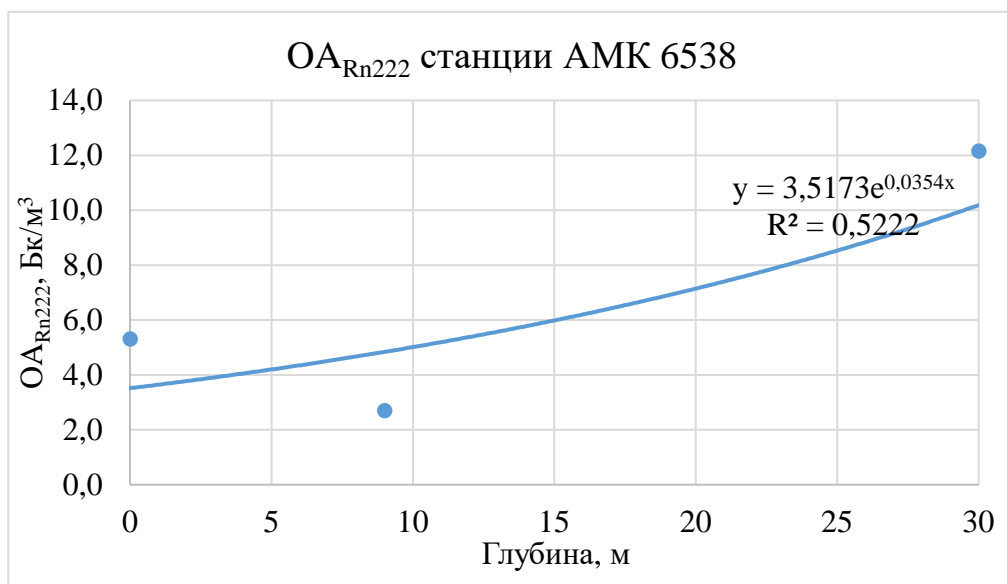
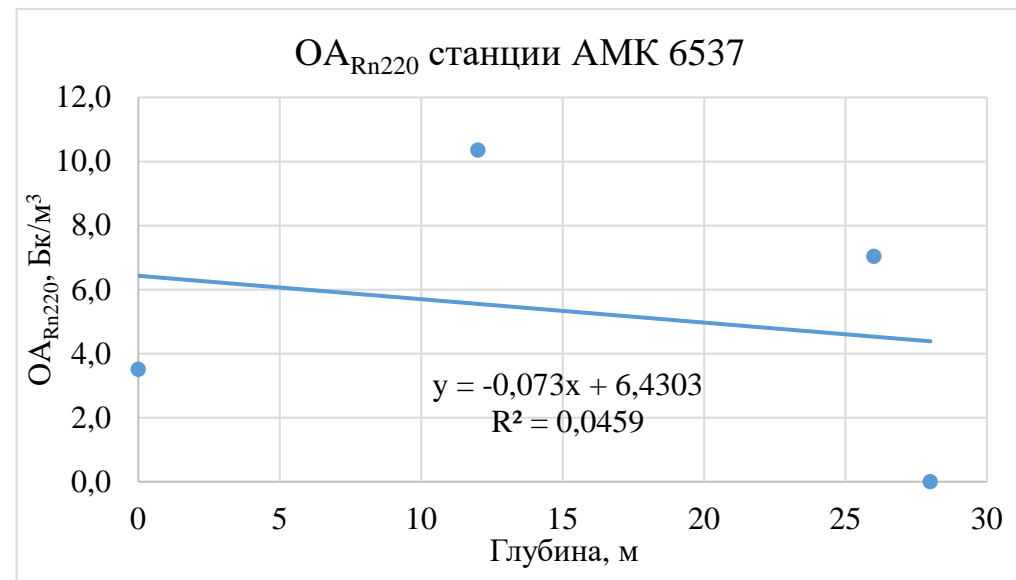
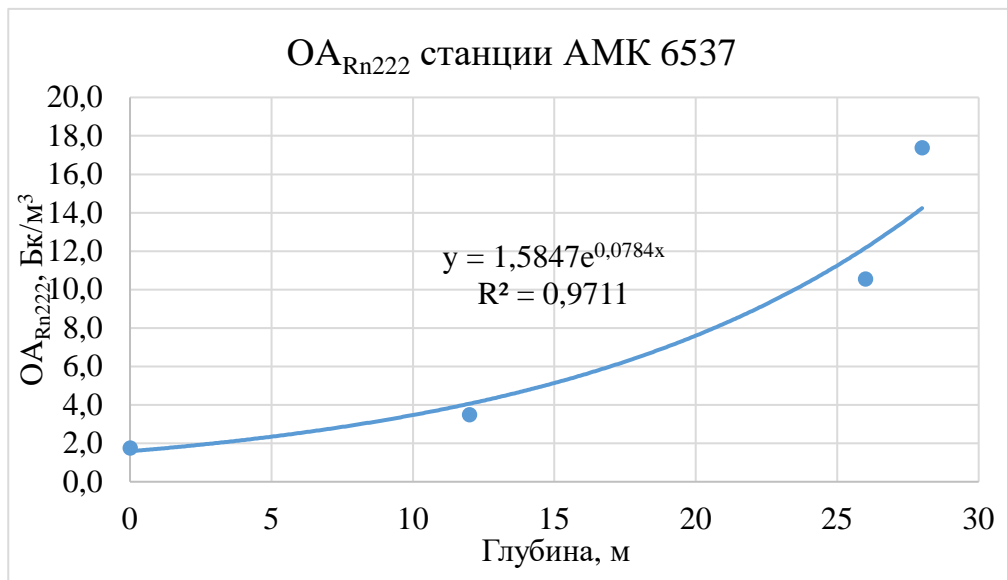


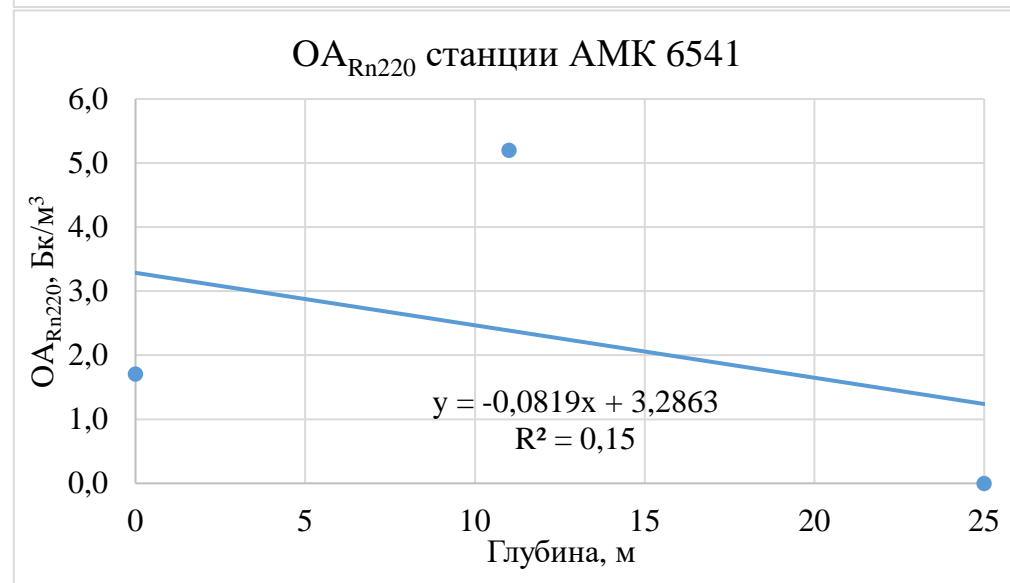
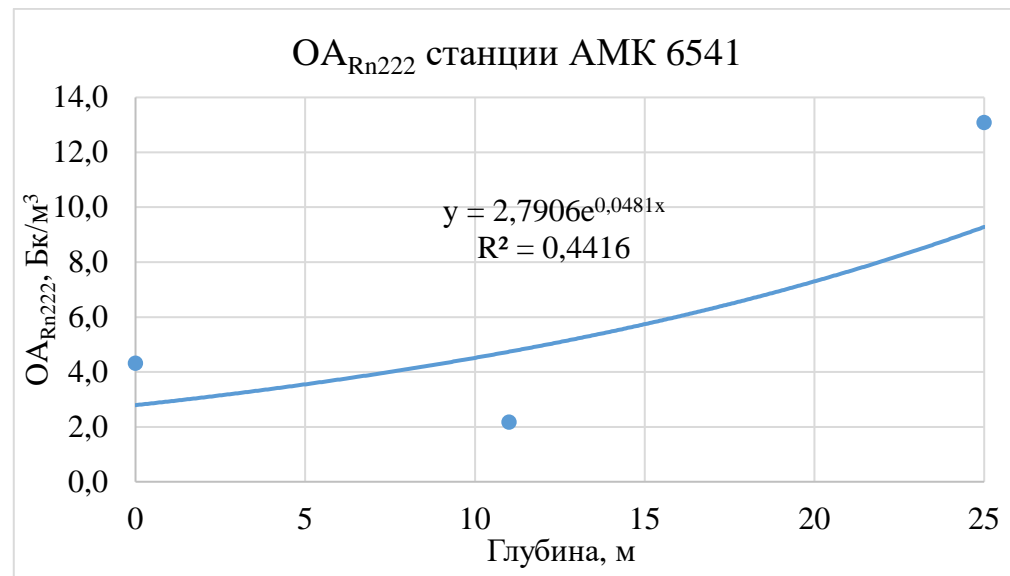












Приложение Г (гистограммы распределение частот ОА радона и торона в поверхностных водах морей 2019 года)

