


ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И  
МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ











УТВЕРЖДАЮ  
Руководитель Росгидромета

  
М.Е. Яковенко  
« 02 » сентя 2017 г.

**ОТЧЕТ**  
**по определению причин и источника рутения-106 на территории России**  
**в сентябре-октябре 2017 года**

2017

### СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Генеральный директор ФГБУ «НПО «Тайфун», д.т.н.		В.М. Шершаков
Зам. генерального директора – директор ИПМ, к.ф.-м.н.		В.Г. Булгаков
Первый зам. генерального директора – директор ИЭМ, к.ф.-м.н.		В.Н. Иванов
И.о. начальника ФИАЦ		В.Н. Мухалев
Зам. начальника ФИАЦ, к.ф.м.н.		М.П. Коломеев
Зав. лабораторией ФИАЦ, к.т.н.		Р.В. Бородин
Зав. лабораторией ИПМ, к.б.н.		М.Н. Каткова
Ведущий научный сотрудник ИЭМ, к.ф.-м.н.		В.А. Коршунов
Главный научный сотрудник ИПМ, д.т.н.		С.М. Вакуловский
Главный научный сотрудник ИПМ, д.ф.-м.н.		И.И. Крышев
Старший научный сотрудник ИПМ, к.г.н.		В.Д. Гниломедов
Инженер ИПМ		А.А. Бурякова

## РЕФЕРАТ

Отчет 139 с., 69 рис., 13 табл., 5 прил.

### РУТЕНИЙ-106, МОНИТОРИНГ, АЭРОЗОЛИ, АТМОСФЕРНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ, ПЕРЕНОС В АТМОСФЕРЕ

Проанализированы данные мониторинга о содержании рутения-106 в атмосферных аэрозолях и выпадениях на территории РФ в сентябре-октябре 2017 г. Уровни содержания радиоактивных веществ в атмосферном воздухе находились значительно ниже установленных допустимых уровней в соответствии с нормативными требованиями (санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»). Зарегистрированные уровни содержания рутения-106 в атмосферных аэрозолях не представляют радиационной опасности для населения и не требуют принятия защитных мер. Рассмотрены возможные версии причин и источников появления рутения-106 в атмосфере в сентябре-октябре 2017 г. С учетом моноизотопного характера повышения содержания рутения-106 в приземном воздухе и атмосферных выпадениях наиболее вероятной представляется версия о поступлении рутения-106 в атмосферу из наземного источника на территории Южного или Среднего Урала. Выявлены существенные недостатки современной системы мониторинга радиационной обстановки, не позволяющей, как показала ситуация с рутением-106, надежно установить источник поступления радионуклидов в окружающую среду, своевременно реагировать на возможные изменения радиационной обстановки.

Обосновывается необходимость принятия неотложных мер по развитию и модернизации системы мониторинга радиационной обстановки на территории РФ, включая СРМ Росгидромета и локальные системы мониторинга в районах расположения радиационных объектов. Показана целесообразность развития других систем мониторинга состояния

окружающей среды (сеть лидарного зондирования аэрозольных образований искусственного происхождения в тропосфере и стратосфере, перспективные дистанционные средства мониторинга и др.), способствующие выявлению причин и источников радиоактивного загрязнения окружающей среды. Предлагается предусмотреть приоритетное развитие систем мониторинга радиационной обстановки в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АСКРО	- автоматизированная система контроля радиационной обстановки
ВФУ	- воздухо-фильтрующая установка
ЗН	- зона наблюдения
МАГАТЭ	- Международное Агентство по атомной энергии
МАЭД	- мощность амбиентного эквивалента дозы
МДА	- минимально детектируемая активность
РОО	- радиационно опасные объекты
СЗЗ	- санитарно-защитная зона
СКЦ	- ситуационно-кризисный центр Росатома
СРМ	- система радиационного мониторинга
УГМС	- Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
УМЗА	- Управление мониторинга загрязнения окружающей среды, полярных и морских работ

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 АНАЛИЗ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ЗА СОДЕРЖАНИЕМ РУТЕНИЯ-106 В АЭРОЗОЛЯХ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РФ В СЕНТЯБРЕ-ОКТЯБРЕ 2017 ГОДА.....	10
1.1 Система радиационного мониторинга Росгидромета.....	10
1.2 Анализ полученных на СРМ данных с ориентировочной хронологией событий.....	13
1.3 Система радиационного мониторинга Госкорпорации «Росатом».....	20
1.4 Недостатки системы радиационного мониторинга .....	25
2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН И НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОЯВЛЕНИЯ РУТЕНИЯ-106 НА ТЕРРИТОРИИ РФ И В СТРАНАХ ЕВРОПЫ В СЕНТЯБРЕ-ОКТЯБРЕ 2017 ГОДА .....	28
2.1 Расчет обратных траекторий .....	29
2.2 Возможность появления рутения-106 на территории России вследствие регионального или трансграничного переноса.....	31
2.3 Моделирование распространения рутения-106 в атмосфере от гипотетического наземного источника, расположенного на Южном или Среднем Урале .....	36
2.4 Моделирование распространения рутения-106 в ближней зоне гипотетического наземного источника, расположенного на Южном Урале.....	41
3 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ РУТЕНИЯ-106 ИЗ СТРАТОСФЕРЫ И ВЕРХНЕЙ ТРОПОСФЕРЫ В СЕНТЯБРЕ-ОКТЯБРЕ 2017 ГОДА .....	44
3.1 Анализ возможности поступления рутения-106 из стратосферы .....	44
3.2 Версия поступления рутения-106 в атмосферу в результате падения космического аппарата.....	46
3.3 Версия поступления рутения-106 в приземную атмосферу из верхней тропосферы.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64
Приложение А. Результаты автомобильной маршрутной съемки на территории Челябинской области в районе ФГБУ «ПО «Маяк» 17 декабря 2017 года .....	66
Приложение Б. Результаты моделирования распространения рутения-106 в атмосфере от гипотетического наземного источника, расположенного на Южном или Среднем Урале .	70
Приложение В. Материалы ИБРАЭ РАН по анализу распространения рутения-106 в атмосфере в сентябре-октябре 2017 г.....	76
Приложение Г. Анализ стратосферно-тропосферного обмена над Европейской территорией России и Уралом в период 23 сентября - 5 октября 2017 г.....	92

Приложение Д. Анализ возможности поступления рутения-106 в приземную атмосферу из верхней тропосферы .....	111
---	-----

## ВВЕДЕНИЕ

С 23 сентября 2017 г. на сети радиационного мониторинга Росгидромета, работающей в штатном режиме, на территории Челябинской области в пробах атмосферных аэрозолей наблюдалось увеличение суммарной активности бета-излучающих радионуклидов ( $\Sigma\beta$ ), а при проведении спектрометрического анализа этих проб регистрировалось наличие рутения-106 – редкого техногенного бета-излучающего радионуклида, не имеющего природных источников и глобального техногенного фона. Уровни содержания радиоактивных веществ в атмосферном воздухе находились значительно ниже установленных допустимых уровней в соответствии с нормативными требованиями (санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»). Зарегистрированные уровни содержания рутения-106 в атмосферных аэрозолях не представляют радиационной опасности для населения и не требуют принятия защитных мер. По данным ФГУП «ПО «Маяк» в пробах приземного воздуха, экспонировавшихся с 21 сентября по 2 октября на промплощадке концентрация рутения-106 составила 12,8-15,1 мБк/м<sup>3</sup>.

В конце сентября – первой декаде октября присутствие рутения-106 в приземном воздухе и атмосферных выпадениях было зарегистрировано на постах наблюдений на территории Челябинской области, Башкирии, Татарстана, Ульяновской, Самарской, Саратовской, Волгоградской, Ленинградской областей, в районе Красноярска, в районах Балаковской, Кольской, Курской, Нововоронежской, Ростовской АЭС.

Согласно отчету МАГАТЭ [1, 2] с 25 сентября по 9 октября на территории Европейских стран в пробах аэрозолей фиксировали рутений-106 в концентрациях от 10 мБк/м<sup>3</sup> до 100 мБк/м<sup>3</sup>, что сопоставимо и выше, чем концентрации, наблюдавшиеся на территории России, включая Уральский регион. Максимальная концентрация была зарегистрирована в Румынии –



145 мБк/м<sup>3</sup>. Такие концентрации рутения-106 в атмосферном воздухе не представляют радиационной опасности для населения и окружающей среды. Вместе с тем следует отметить, что величина концентрации рутения-106 в пробах воздуха существенно зависит от времени экспозиции, изменявшегося в широких пределах от 1-2 суток до 2-4 недель, что затрудняет количественное сравнение имеющихся данных наблюдений. Длительный характер экспозиции пробы не дает возможности определить максимальную концентрацию рутения-106 в аэрозолях приземного воздуха.

В отчете представлены результаты анализа данных мониторинга содержания рутения-106 в приземном воздухе и атмосферных выпадениях. Проанализированы версии о возможных причинах и источниках поступления рутения-106 на территории России в сентябре-октябре 2017 г. С учетом моноизотопного характера повышения содержания рутения-106 в приземном воздухе и атмосферных выпадениях в сентябре-октябре 2017 г. наиболее вероятной представляется версия о поступлении рутения-106 в атмосферу из наземного источника в регионе Урала.

Выявлены существенные недостатки современной системы мониторинга радиационной обстановки, не позволяющей, как показала ситуация с рутением-106, надежно установить источник поступления радионуклидов в окружающую среду, своевременно реагировать в случае возникновения необычных или непредсказуемых событий на радиационно-опасных объектах.

Необходимо принять неотложные меры по развитию и модернизации системы мониторинга радиационной обстановки на территории РФ, включая СРМ Росгидромета и локальные системы мониторинга в районах расположения радиационно опасных объектов. Предусмотреть приоритетное развитие систем мониторинга радиационной обстановки в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

# 1 АНАЛИЗ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА ЗА СОДЕРЖАНИЕМ РУТЕНИЯ-106 В АЭРОЗОЛЯХ ПРИЗЕМНОГО ВОЗДУХА И АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РФ В СЕНТЯБРЕ-ОКТАБРЕ 2017 ГОДА

## 1.1 Система радиационного мониторинга Росгидромета

Основными источниками информации о радиационной обстановке на территории РФ являются системы наблюдений Росгидромета и Госкорпорации «Росатом».

Росгидромет осуществляет наблюдения за радиационной обстановкой на всей территории РФ на базе радиометрической сети.

В настоящее время радиометрическая сеть Росгидромета осуществляет наблюдения за глобальным загрязнением территории РФ (фоновый мониторинг); на территориях, загрязненных в результате радиационных аварий; в районах расположения РОО, включая места захоронения радиоактивных отходов; на территориях возможного трансграничного переноса. В основном сейчас СРМ ориентирована на наблюдения в 100-км зонах расположения РОО.

Состав СРМ следующий: 1272 пункта по измерению МАЭД, 363 пункта по отбору проб радиоактивных выпадений; 54 – по отбору проб радиоактивных аэрозолей; 32 – по отбору проб атмосферных осадков для определения содержания в них трития; 15 – по отбору проб воды из рек для определения содержания в них трития; 44 – по отбору проб воды из пресных водоемов для определения содержания в них  $^{90}\text{Sr}$ ; 11 – по отбору проб морской воды для определения содержания в них  $^{90}\text{Sr}$ ; 10 – по отбору проб морского грунта на содержание гамма-излучающих радионуклидов.

В штатном режиме работы СРМ пробы атмосферных аэрозолей и выпадений отбираются в соответствии с утвержденным в РД 52.18.826-2015 регламентом.

Отбор проб аэрозолей осуществляется с экспозицией 5 суток, в некоторых УГМС (в основном, по причине использования устаревшего оборудования) с экспозицией 1 сутки.

Отбор проб радиоактивных выпадений осуществляется с помощью горизонтальных планшетов с суточной экспозицией.

В соответствие с рекомендациями МАГАТЭ [3, 4] регламент отбора проб вокруг локального источника должен составлять для радиоактивных аэрозолей – 7-10 суток, для радиоактивных выпадений – 1 месяц с помощью универсального бака-сборника.

После снятия, пробы в пункте наблюдения упаковываются и отправляются в тот же или на следующий день в радиометрическую лабораторию или группу в соответствии с [5].

МАЭД определяется с помощью носимого дозиметра для оперативной оценки радиационной обстановки в пункте наблюдения и сравнения с критериями загрязнения окружающей среды.

В соответствии с Приказом Росгидромета от 31.10.2000 г. № 156 «О введении в действие порядка подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей природной среды» критериями повышенных уровней радиоактивного загрязнения воздуха и мощности дозы считаются: критерий экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) и критерий высокого загрязнения (ВЗ).

Критерий ЭВЗ имеет место при выполнении одного из следующих условий:

- среднесуточная объемная суммарная бета-активность радионуклидов в приземном слое атмосферы, по данным первых измерений (через одни сутки после окончания отбора проб), превышает  $37 \text{ мБк/м}^3$ ;

- суммарная бета-активность радиоактивных выпадений по результатам первых измерений (через одни сутки после отбора проб) превышает  $110 \text{ Бк/м}^2$  в сутки;

- МЭД превышает фоновое значение  $N_{\phi}$  за прошедший месяц для конкретного пункта наблюдения на величину 0,6 мкЗв/ч или более; при таком превышении МЭД в течение всего года, годовая доза внешнего облучения может превысить предел дозы 5 мЗв в соответствии с СанПин 2.6.1.2523 (НРБ-99/2009).

Критерий ВЗ имеет место при выполнении одного из следующих условий:

- 5-кратное увеличение среднесуточной объемной суммарной бета-активности радионуклидов в воздухе по данным вторых измерений (на пятые сутки после отбора проб), по сравнению с фоновыми значениями за предыдущий месяц;

- 10-кратное увеличение суммарной бета-активности радиоактивных выпадений по данным вторых измерений, по сравнению с фоновыми значениями за предыдущий месяц;

- величина МЭД превышает фоновое значение  $N_{\phi}$  за прошедший месяц для конкретного пункта наблюдения на величину 0,11 мкЗв/ч и более; при таком превышении МЭД в течение всего года, годовая доза внешнего облучения может достичь предела дозы 1 мЗв в соответствии с СанПин 2.6.1.2523 (НРБ-99/2009).

Критерии, связанные с суммарной бета-активностью радионуклидов в воздухе и атмосферных выпадениях, используются в подразделениях Росгидромета для принятия решения о степени детальности мониторинга, и не имеют отношения к критериям радиационной опасности для населения и окружающей среды.

В радиометрической лаборатории озоленные пробы измеряются на суммарную бета-активность (суммарная активность всех бета-излучающих радионуклидов,  $\Sigma\beta$ ). Если в результате измерения выявлены уровни «высокого» и «экстремально высокого загрязнения» (ВЗ и ЭВЗ), то информация о ВЗ и ЭВЗ немедленно передается в УГМС, Росгидромет и ФГБУ «НПО «Тайфун» телеграммами ШТОРМ ВОЗДУХ по АСПД

ПОГОДА в соответствии с пунктами 1.4-1.5 (ЭВЗ) и 2.1-2.2 (ЭВЗ) Приказа № 156 «О введении в действие порядка подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей среды».

Далее проводится детальный радиоизотопный гамма-спектрометрический анализ пробы ВЗ или ЭВЗ. В соответствии с пунктами 1.6 и 2.5 Приказа № 156 радиометрическая лаборатория в двухнедельный срок должна выслать результаты в УГМС, Росгидромет и ФГБУ «НПО «Тайфун».

При чрезвычайной ситуации радиационного характера СРМ переходит на учащенный режим наблюдений специальным распоряжением Росгидромета. В этот период МАЭД измеряют каждый час, радиоактивные аэрозоли и выпадения отбирают ежесуточно. Пробы аэрозолей и выпадений просматривают на наличие йода-131 и аномального радионуклидного состава. Параллельно работают мобильные средства наблюдения.

В связи с информацией о регистрации рутения-106 на территории ряда стран Европы СРМ перешла на специальный режим работы 11.10.2017 г. (телеграмма Росгидромета от 11.10.2017 г. № 20-17Т).

## **1.2 Анализ полученных на СРМ данных с ориентировочной хронологией событий**

Данные о суммарной бета-активности и содержании рутения-106 в пробах радиоактивных аэрозолей и выпадений, полученные с СРМ, были повторно проанализированы в лаборатории ФГБУ «НПО «Тайфун». Отметим, что сравнение данных, полученных на СРМ Росгидромета и на других системах радиационного мониторинга (МАГАТЭ, локальные системы), является некорректным из-за разницы во времени экспозиции проб радиоактивных аэрозолей и выпадений. По этой же причине, можно предположить, что, полученные на СРМ Росгидромета данные о содержании рутения-106 в пробах радиоактивных аэрозолей не являются максимальными

– экспозиция аэрозольных фильтров на СРМ Росгидромета составляет 5 суток.

В пробах, отобранных начиная с **23 сентября 2017** г. на СРМ на территории Челябинской области, Башкирии, Татарстана, Ульяновской, Саратовской, Волгоградской, Ленинградской областей в атмосферных аэрозолях регистрировалось увеличение величины  $\sum\beta$  и наличие радионуклида техногенного происхождения рутения-106.

Впервые повышенное значение величины  $\sum\beta$  было отмечено в суточной пробе атмосферных выпадений, отобранной 23-24 сентября в пос. Кыштым – до 71,9 Бк/м<sup>2</sup>·сут, при фоновом значении в августе 0,7 Бк/м<sup>2</sup>·сут. Детальный анализ пробы показал наличие рутения-106 – 50,7 Бк/м<sup>2</sup>·сут.

**С 25 по 30 сентября** повышенное значение величины  $\sum\beta$  – (6,0-55,6) Бк/м<sup>2</sup>·сут, что на два порядка превышает фоновые значения августа, регистрировалась также в других пунктах наблюдения в районе расположения ПО «Маяк» – Новогорном, Аргаяше, Худайбердинском, Метлино. В отобранных пробах был зафиксирован рутений-106 в диапазоне (3,0-37,1) Бк/м<sup>2</sup>·сут.

В пятисуточных пробах атмосферных аэрозолей – экспозиция с 26 сентября по 1 октября – в пунктах наблюдения Аргаяш и Новогорный был зафиксирован рост объемной  $\sum\beta$  до 50,6 мБк/м<sup>3</sup> в Аргаяше и 43,6 мБк/м<sup>3</sup> в Новогорном, при фоновом значении в августе 0,077 мБк/м<sup>3</sup> и 0,119 мБк/м<sup>3</sup> соответственно. При этом объемная активность рутения-106 составила 29,4 мБк/м<sup>3</sup> в Аргаяше и 20,5 мБк/м<sup>3</sup> в Новогорном. В пробах атмосферных аэрозолей за этот же период экспозиции высокие значения объемной  $\sum\beta$  были зафиксированы в Волгограде и Цимлянске – 21,5 мБк/м<sup>3</sup> и 14,8 мБк/м<sup>3</sup>, при фоновом значении в августе 0,093 мБк/м<sup>3</sup> и 0,106 мБк/м<sup>3</sup> соответственно. Объемная активность рутения-106 в этих пунктах составила 13,6 мБк/м<sup>3</sup> в Волгограде и в 19,0 мБк/м<sup>3</sup> в Цимлянске.

Сообщений о значительном повышении  $\Sigma\beta$  или обнаружении рутения-106 в этот период в воздухе или атмосферных выпадениях в других пунктах сети радиационного мониторинга не поступало.

В пробах аэрозолей за третий квартал рутений-106 был зафиксирован в Самаре (0,48 мБк/м<sup>3</sup>) и Балаково (2,0 мБк/м<sup>3</sup>).

**В начале октября с 1 по 9 число** рутений-106 фиксировался в суточных пробах аэрозолей в Самаре, причем в пробе за 2-3 октября его величина составила 0,115 мБк/м<sup>3</sup>, в остальные дни активность была в пределах (0,021-0,051) мБк/м<sup>3</sup>.

В пробе аэрозолей за период **1-10 октября** рутений-106 в количестве 0,021 мБк/м<sup>3</sup> был обнаружен в Балаково. В Санкт-Петербурге рутений-106 в пробе за 2-6 октября определен в количестве 0,115 мБк/м<sup>3</sup>.

В районе Красноярска (пункты наблюдения Большая Мурта и Сухобузимское) в период 4-7 октября фиксировался рутений-106 в количестве (0,0785-0,208) мБк/м<sup>3</sup>.

Согласно отчету МАГАТЭ [1, 2] с 25 сентября по 9 октября на территории Европейских стран в пробах аэрозолей фиксировали рутений-106 в концентрациях от 10 мБк/м<sup>3</sup> до 100 мБк/м<sup>3</sup>, максимальная концентрация была в Румынии – 145 мБк/м<sup>3</sup>.

С точки зрения воздействия на человека и окружающую среду, зарегистрированные объемные активности аэрозолей рутения-106 в приземном воздухе низкие и не представляют радиационной угрозы. Максимальные зафиксированные на СРМ Росгидромета объемные активности Ru-106 были в 150 раз ниже допустимой среднегодовой объемной активности ДОА<sub>нас</sub> равной 4,4 Бк/м<sup>3</sup>, регламентируемой в НРБ-99/2009.

В таблице 1.1 приведены данные, полученные СРМ, о содержании рутения-106 в пробах радиоактивных аэрозолей и выпадений с 23 сентября по 11 октября 2017 г.

Таблица 1.1 – Содержание рутения-106 в пробах радиоактивных аэрозолей и выпадений с 23 сентября по 11 октября 2017 г. по данным СРМ Росгидромета

Пункт	УГМС	Дата отбора	Активность Ru-106, мБк/м <sup>3</sup>
<b>АЭРОЗОЛИ</b>			
Аргаяш	Уральское	26.09-01.10	29,4
Новогорный	Уральское	26.09-01.10	20,5
Волгоград	Северо-Кавказское	26.09-01.10	13,6
Цимлянск	Северо-Кавказское	26.09-01.10	19,0
Балаково	Приволжское	3 кв 2017	2,0
Самара	Приволжское	3 кв 2017	0,48
Курск	Центрально-Черноземное	27-28.09	0,12
Санкт-Петербург	Северо-Западное	02-06.10	0,115
Большая Мурта	Среднесибирское	04-05.10	0,079
Большая Мурта	Среднесибирское	06-07.10	0,113
Сухобузимское	Среднесибирское	06-07.10	0,208
Зашеек	Мурманское	03-04.10	0,082
Зашеек	Мурманское	04-05.10	0,024
Мурманск	Мурманское	04-05.10	0,137
Самара	Приволжское	01-02.10	0,034
Самара	Приволжское	02-03.10	0,115
Самара	Приволжское	03-04.10	0,032
Самара	Приволжское	04-05.10	0,051
Самара	Приволжское	05-06.10	0,026
Самара	Приволжское	06-07.10	0,025
Самара	Приволжское	07-08.10	0,051
Самара	Приволжское	08-09.10	0,021
Балаково	Приволжское	01-11.10	0,021
<b>ВЫПАДЕНИЯ</b>			
Пункт	УГМС	Дата отбора	Активность Ru-106, Бк/м <sup>2</sup> в сутки
Кыштым	Уральское	23-24.09	50,7
Аргаяш	Уральское	25-26.09	13,9
Аргаяш	Уральское	26-27.09	11,0
Новогорный	Уральское	26-27.09	30,9
Метлино	Уральское	26-27.09	37,1
Худайбердинский	Уральское	27-28.09	3,0
Новогорный	Уральское	27-28.09	7,4
Новогорный	Уральское	29-30.09	28,0
Худайбердинский	Уральское	29-30.09	28,9
Морозовск	Северо-Кавказское	28-29.09	17,1
Бугульма	Татарстан	26-27.09	3,4
Бугульма	Татарстан	27-28.09	6,2
Уфа-Дема	Башкирское	26-27.09	16,9
Ульяновск	Приволжское	02-07.10	2,1
Димитровград	Приволжское	02.10	3,1
Димитровград	Приволжское	03.10	2,9
Димитровград	Приволжское	04.10	3,2



Димитровград	Приволжское	05.10	2,2
Оренбург	Приволжское	01-02.10	2,8
Самара	Приволжское	01.10	3,2
Самара	Приволжское	02.10	2,0
Самара	Приволжское	03.10	2,0
Самара	Приволжское	04.10	2,8
Самара	Приволжское	05.10	2,8
Оренбург	Приволжское	02.10	3,2
Тольятти	Приволжское	01.10	2,1
Бузулук	Приволжское	01.10	2,3
Самара	Приволжское	06-07.10	2,3
Самара	Приволжское	07-08.10	2,4
Самара	Приволжское	08-09.10	1,2
Димитровград	Приволжское	06-08.10	1,2
<i>Примечание: неопределенность измерений от 20 до 60%</i>			

По запросу ФГБУ «НПО «Тайфун» была получена информация за период времени, предшествующий регистрации рутения-106 в сентябре 2017 г. Данные представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Содержание рутения-106 в пробах радиоактивных выпадений за период времени, предшествующий регистрации рутения-106 в сентябре 2017 г.

УГМС	Пункт наблюдения	Период наблюдения	Концентрация рутения-106, мБк/м <sup>3</sup>	Примечание
НПО Тайфун	Верхнее Дуброво	2 кв. 2017	0,031	Данные НПО Тайфун, ½ пробы
Уральское	Верхнее Дуброво	2 кв. 2017	0,0406	Данные Уральского УГМС, ½ пробы
Уральское	Верхнее Дуброво	Апрель	0,101	
Уральское	Верхнее Дуброво	Май	0,0009	
Уральское	Верхнее Дуброво	Июнь	0,0048	
Уральское-Челябинский ЦГМС	Кыштым	Апрель	0,01	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Кыштым	Май	не обнаружен	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Кыштым	Июнь	0,017	Данные Челябинского ЦГМС

УГМС	Пункт наблюдения	Период наблюдения	Концентрация рутения-106, мБк/м <sup>3</sup>	Примечание
Уральское-Челябинский ЦГМС	Кыштым	Июль	0,006	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Кыштым	Август	не обнаружен	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Аргаяш	Апрель	не обнаружен	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Аргаяш	Май	0,005	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Аргаяш	Июнь	0,013	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Аргаяш	Июль	0,007	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Аргаяш	Август	0,025	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Новогорный	Апрель	не обнаружен	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Новогорный	Май	0,0154	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Новогорный	Июнь	0,008	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Новогорный	Июль	0,011	Данные Челябинского ЦГМС
Уральское-Челябинский ЦГМС	Новогорный	Август	0,015	Данные Челябинского ЦГМС

Примечание.

1. Данные, представленные Челябинским ЦГМС, получены на сцинтилляционном гамма-спектрометре и имеют большую неопределенность измерений до 60%.

2. Данные представленные Челябинским ЦГМС за август 2017 года для пункта Новогорный отличаются на порядок величины от данных, полученных ЮУрИБФ (зав. лаб. Сылко С.А.) – 0,0015 и 0,039 мБк/м<sup>3</sup> соответственно. Отличие данных связано с разницей в методиках измерения и используемом измерительном оборудовании (ЮУрИБФ использовал для измерения рутения-106 полупроводниковый детектор гамма-излучения Canberra GX3018).

### ***Результаты автомобильной маршрутной съемки местности в районе ФГУП «ПО «Маяк»***

17.12.2017 г. в районе ФГУП «ПО «Маяк» Челябинской области специалистами ФГБУ «НПО «Тайфун» была проведена автомобильная маршрутная съемка местности. Маршрут съемки был следующий: Кыштым - Новогорный - Худайбердинский - Калиновский - Худайбердинский - Аргаяш - Норкино - Долгодеревенское - Метлино - Озерск - Касли - Кыштым.

Автомобильная гамма-спектрометрическая съемка выполнялась измерительным комплексом МР-43. Маршрутная съемка выполнялась в автоматическом режиме с секундной регистрацией МАЭД и 300 секундной экспозицией спектра при скорости движения автомобиля 50-60 км/час. Всего по маршруту отснято 60 спектров.

По маршруту съемки МАЭД в основном составляло от 0,07 до 0,12 мкЗв/ч, на отдельных участках переходила в диапазон 0,13-0,20 мкЗв/ч и только при пересечении реки Теча МАЭД превысило отметку в 1 мкЗв/ч. На спектрах из техногенных радионуклидов регистрировался только Cs-137. На отдельных участках по линии 512-513 кэВ (энергия Ru-106 или Rh-106) появлялись слабые фотопики, чуть превышающие предел чувствительности, но при остановке и съезде с трассы на грунт оставался только фотопик энергии 511 кэВ (Th-232) – по-видимому, эффект дорожного покрытия.

По результатам обследования по маршруту съемки вокруг ПО «Маяк» рутений-106 не выявлен.

Более подробная информация о маршрутной гамма-съемке представлена в Приложении А.

### ***Результаты анализа содержания рутения-106 в пробах атмосферных аэрозолей, отобранных авиационными средствами***

В ФГБУ НПО «Тайфун» был проведен гамма-спектрометрический анализ трех проб радиоактивных аэрозолей воздуха (фильтроматериал), отобранных авиационными средствами в период с 18 по 20 декабря 2017

года. Фильтроматериал был отобран авиационными средствами Министерства обороны РФ. Результаты проведенного анализа представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Результаты анализа содержания рутения-106 в пробах атмосферных аэрозолей, отобранных авиационными средствами в период с 18 по 20 декабря 2017

№ Пробы	Маршрут отбора пробы	Дата и время отбора	Высота отбора, м	Активность рутения-106, Бк
1	г. Бологое Тверской обл. – г. Челябинск	18.12.2017 10:15-12:42 мск.	12200	< 0,45
2	г. Челябинск – г. Крымск Краснодарский край	19.12.2017 10:07-12:58 мск.	12200	< 0,38
3	г. Крымск Краснодарский край – г. Кубинка Московской обл.	20.12.2017 11:39-12:42 мск.	12200	<0,40

Во всех пробах активность на фильтрах радионуклида рутения-106 была ниже предела используемого метода анализа. В пробах обнаружены радионуклиды бериллия-7 и натрия-22, уровни содержания которых характерны для высот отбора проб. Объемные активности радионуклидов в пробах не возможно было рассчитать из-за отсутствия данных об объеме прокаченного через фильтры воздуха.

### **1.3 Система радиационного мониторинга Госкорпорации «Росатом»**

В соответствии с Федеральным законом от 21.11.1995 г. № 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии" государственный мониторинг радиационной обстановки является одним из видов деятельности в области

использования атомной энергии. Организация и осуществление государственного мониторинга в районах расположения ОИАЭ (в СЗЗ и ЗН) возложены на Госкорпорацию "Росатом".

Регламент отбора проб вокруг РОО (АЭС, ФГУП «ПО «Маяк», ГХК, СХК) утверждается конкретно для каждого объекта. Если обобщить, то на объектах Госкорпорации «Росатом» отбор проб радиоактивных аэрозолей с помощью ВФУ составляет от 7-10 дней до 1 месяца, отбор проб радиоактивных выпадений с помощью кювет с бортиками – 1 месяц.

В период регистрации рутения-106 (13.10.2017 г.) СКЦ Росатома представил информацию о содержании рутения-106 в пробах радиоактивных аэрозолей вокруг российских АЭС, позднее эта информация была дополнена данными для других организаций Госкорпорации «Росатом» (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Содержание рутения-106 в пробах радиоактивных аэрозолей вокруг организаций Госкорпорации «Росатом» в сентябре-октябре 2017 г.

Организация	Дата/период измерения в 2017 году	Минимально-детектируемая активность (МДА), мБк/м <sup>3</sup>	Максимальная объемная активность Ru-106, мБк/м <sup>3</sup>	Длительность пробоотбора, примечания
Балаковская АЭС	01.09-02.10	0,001	27,7-33,2	раз в месяц, *умножено на 4
	02.10-02.11		22,4-63,6	
Белоярская АЭС	18.09-25.09		< 0,0035	1 неделя ч/з неделю
	02.10-09.10		< 0,0035	
Билибинская АЭС	09.10-12.10	0,066	≤ 0,066	
Калининская АЭС	19.09-03.10	0,0014	<0,0014	
Кольская АЭС	28.09-05.10	0,011	16,8-19	1 неделя, время измерения проб от 12.10.17 было увеличено до 12-ти часов (стандартное время измерения – 3 часа)
	далее октябрь		не обнаружен	
Курская АЭС	сентябрь	0,009-0,012	0,056-0,23	1 раз в месяц
	октябрь		0,014-0,084	

Ленинградская АЭС	25.09-06.10	0,005	0,073	измерено в ЗН
	далее октябрь		не обнаружен	
Нововоронежская АЭС	26.09-2.10	0,006	0,43	1 неделя
	2.10-07.10		0,1	
Ростовская АЭС	29.09-13.10	0,024	2,76-4,41	2 недели
Смоленская АЭС	сентябрь- октябрь	0,005	не обнаружен	1 раз в месяц
ФГУП «РФЯЦ- ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»	сентябрь- октябрь		не обнаружен	2 недели
ФГУП «РФЯЦ- ВНИИЭФ»	сентябрь- октябрь		не обнаружен	2 недели
АО «ГНЦ НИИАР»	22.09-29.09		20-35	1 неделя
	29.09-06.10		не обнаружен	
ФГУП «ГХК»	сентябрь		< 0,004	1 неделя (в недельных пробах ниже предела обнаружения)
	октябрь		0,008-0,02	
ФГУП «Атомфлот»	25.09-02.10		не обнаружен	1 неделя, также в пробах присутствуют Cs- 137 – 0,033 мБк/м <sup>3</sup> , Co-60 – 0,008 мБк/м <sup>3</sup>
	2.10-09.10		0,0316	
АО «СХК»	сентябрь		не обнаружен	Периодичность замены фильтров - 1 неделя, всего отобрано 63 пробы в (СЗЗ, ЗН и фоновые пункты контроля)
	октябрь		не обнаружен	
АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»	15.09-07.11		не обнаружен	
АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» на площадке Эль-Дабаа (провинция Матрух, Египет)	30.09-10.10		0,38	Других техногенных радионуклидов не обнаружено, Be-7 – (4,9-5,1) мБк/м <sup>3</sup> , K-40 – 68 мБк/м <sup>3</sup>
	10.10-20.10		не обнаружен	
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»*	31.08-29.09		не обнаружен	1 раз в месяц, *умножено на 4
	29.09-31.10		0,12-0,14	

Из таблицы 1.4 и представленной в ней информации можно сделать следующие выводы:

- периоды отбора проб радиоактивных аэрозолей составляют от 8 дней до 1 месяца. Концентрации рутения-106 усреднены за соответствующие периоды отбора проб, в такой ситуации указать конкретный день прохождения воздушных масс с рутением-106 невозможно;

- на Билибинской, Калининской и Смоленской АЭС, концентрации рутения-106 были ниже МДА, что соответствует данным наблюдений Росгидромета и метеорологической обстановке в рассматриваемый период времени на территориях расположения данных АЭС;

- данных о содержании рутения-106 в радиоактивных выпадениях не представлено. Отбор проб выпадений вокруг АЭС ведется с помощью кювет с бортиками с неизвестной эффективностью. В ФГБУ «НПО «Тайфун» проводились исследования по оценке эффективности улавливания выпадений с помощью различных средств – планшеты, кюветы, бак-сборник. В результате было получено, что использование планшетных/кюветных наблюдений возможно только с экспозицией 1 сутки, так как при более длительных периодах экспозиции часть выпадений выдувается. И даже при суточной экспозиции эффективность улавливания выпадений составляет 0,7. С доказанной эффективностью 1,0 улавливают выпадения универсальные баки-сборники, которые совмещают в себе сбор и сухих и влажных выпадений с длительной экспозицией – 1 месяц.

#### ***Система радиационного контроля ФГУП «ПО «Маяк»***

ФГУП «ПО «Маяк» осуществляет контроль плотности радиоактивных выпадений в 20 пунктах СЗЗ и ЗН, а также объемной активности аэрозолей воздуха с использованием 20 пассивных систем пробоотбора (марлевых конусов) и 7 ВФУ, размещенных в г. Озерск (1 ВФУ) и на территории промплощадки (6 ВФУ). Контроль с использованием марлевых конусов является индикаторным, позволяющим обнаружить факт повышенного загрязнения воздуха и ориентировочно оценить значение объемной активности.

Продолжительность экспозиции всех конусов и планшетов составляет 1 месяц. Экспозиция фильтров ВФУ от 12 дней и более.

Согласно данным ФГУП «ПО «Маяк» максимальные уровни содержания рутения-106 были определены в 12-ти суточных пробах, отобранных на Заводе 23 (пл. № 1 и № 2) и составили 15,1 и 12,8 мБк/м<sup>3</sup>. В пробах, отобранных с помощью планшета и конуса рутений-106 регистрировался только в период с 20 по 27 сентября 2017 года на метеостанции в Озерске, плотность выпадений рутения-106 в этот период составила 96 Бк/м<sup>2</sup> за 8 суток. В сентябрьских пробах (с 28 августа по 29 сентября), отобранных с помощью конусов, в пунктах Кыштым, Новогорный, Худайбердинск, оз. Татыш, Цветочное хозяйство, ВНФС (з-д 20), Бердяниш, ВНФС (город), Аргаяш регистрировался рутений-106 в различных концентрациях. При этом максимальные значения плотности атмосферных выпадений рутения-106 отмечались в пунктах, совпадающих с пунктами наблюдения Росгидромета, Аргаяш, Новогорный, Худайбердинск и составили 32,7; 20,3 и 18,8 Бк соответственно.

Сравнивать данные, полученные системой радиационного контроля ФГУП «ПО «Маяк» с данными Росгидромета, затруднительно ввиду их несопоставимости в части периодов отбора проб. Также затруднительно выяснить момент максимумов концентрации рутения-106 в рассматриваемых пунктах наблюдения.

Еще одной проблемой, существующей уже многие годы, является несопоставимость данных, получаемых системой радиационного контроля ФГУП «ПО «Маяк» и СРМ Росгидромета. Подтверждением этого, являются наблюдения в пункте Новогорный, где и Росгидромет и ФГУП «ПО «Маяк» имеют свои посты.

С учетом вышеизложенного необходимо организовать совместные работы специалистов Росгидромета и Госкорпорации «Росатом» по обеспечению согласованного функционирования систем наблюдений, находящихся в их ведении, а также сопоставимости данных наблюдений на территории РФ включая районы расположения объектов использования атомной энергии (санитарно-защитных зон и зон наблюдения).



## 1.4 Недостатки системы радиационного мониторинга

Несмотря на отсутствие значимой угрозы воздействия наблюдавшихся концентраций рутения-106 в приземном воздухе на здоровье населения следует отметить существенные недостатки современной системы мониторинга радиационной обстановки и реагирования на возможные радиационные угрозы.

Существующий в настоящее время на СРМ регламент отбора проб радиоактивных аэрозолей (5 суток) согласуется с международными требованиями к ведению радиационного мониторинга, в Европе экспозиция аэрозольных фильтров составляет от 5 до 10 дней. Однако это не позволяет определить момент нештатного или аварийного радиационного события, затрудняет определение источника выброса радионуклидов и прогноз радиационной обстановки.

В ряде лабораторий СРМ, спектрометрическое оборудование устарело и имеет ограниченную по набору радионуклидов библиотеку. Это может привести тому, что не будет выявлен аномальный радионуклидный состав, в случае чрезвычайной ситуации. Необходимо расширить количество лабораторий, выполняющих спектрометрический анализ и обновить устаревшую аппаратуру.

Рутений-106 является бета-излучателем. При отборе проб в пункте наблюдения, наблюдатель измеряет мощность дозы, то есть гамма-фон. Оперативно определить повышенный уровень содержания бета- или альфа-излучающих радионуклидов нет технической возможности, что и наблюдалось в случае с рутением-106. Необходимо оснастить наблюдательные пункты СРМ приборами, определяющими не только гамма-, но и альфа- и бета-излучение.

Количество новых воздухо-фильтрующих установок типа УВФ-2 с автоматическими датчиками суммарной бета- и гамма-активности под фильтром, которые поставлялись на СРМ в ходе ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» крайне

невелико (8 из 53). Также не велик процент установок нового образца типа УВФ-1 без автоматических датчиков, они поставлялись на сеть до 2013 года. Оснащение датчиками и алармовыми сигналами ВФУ используемыми в сети Росгидромета в 100-км зонах вокруг радиационно-опасных объектов, может существенно повысить оперативность получения информации о радиационной обстановке.

### **Выводы**

Анализ работы радиометрических сетей наблюдений Росгидромета и Госкорпорации «Росатом» выявил недостатки в организации и функционировании данных систем наблюдений в ситуации появления радионуклидов в окружающей среде при неизвестном источнике.

1. Системы радиационного мониторинга не имеют возможность оперативно выявления изменений радиационной обстановки по данным наблюдений. Это означает, что при отсутствии оповещения о возникновении нештатной ситуации, системы не смогут своевременно перейти на учащенный режим наблюдений для обоснования эффективных решений и выявления источника. В настоящее время существуют технологии, позволяющие решить данную проблему без изменения программы рутинного мониторинга.

2. Локальные радиометрические сети в системе радиационного мониторинга Госкорпорации «Росатом» используют различные программы, средства и методики наблюдений, что затрудняет, а иногда и исключает, возможность сопоставления и объединение данных о радиационной обстановке на различных территориях РФ.

3. Локальная система мониторинга Госкорпорации «Росатом» в районе ФГУП «ПО «Маяк» использует системы наблюдений (конуса, планшеты с низкими бортиками и длительной экспозиций), которые не могут быть использованы для оценки радиационной обстановки, в том числе и в качестве индикаторов ее изменения.

4. Данные о радиационной обстановке, получаемые радиометрическими сетями Росгидромета и Госкорпорации «Росатом» не сопоставимы и не могут быть объединены для получения пространственной картины загрязнения. В результате анализ пространственных закономерностей распространения рутения по территории РФ проводился только на основе результатов измерений, полученных на сети Росгидромета, что привело к значительной неопределенности в определении места нахождения возможного источника выброса рутения.

**Предлагается:**

1. Провести модернизацию уже существующей сети радиационного мониторинга Росгидромета, направленную на обеспечение оперативности реагирования на изменения радиационной обстановки и расширению контролируемых параметров, в том числе альфа излучения. Автоматические средства контроля разработаны, сертифицированы, успешно прошли апробацию и в небольшом количестве уже внедрены в СРМ.

2. Провести анализ локальных систем наблюдения Госкорпорации «Росатом», на основе которого разработать согласованное с Росгидрометом техническое задание на модернизацию локальных систем наблюдений с учетом специфики объектов и природных условий.

3. Росгидромету и Госкорпорации «Росатом» организовать совместные работы по обеспечению согласованного функционирования систем наблюдений, находящихся в их ведении, а также сопоставимости данных наблюдений на территории РФ включая районы расположения объектов использования атомной энергии (санитарно-защитных зон и зон наблюдения).

## **2 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН И НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОЯВЛЕНИЯ РУТЕНИЯ-106 НА ТЕРРИТОРИИ РФ И В СТРАНАХ ЕВРОПЫ В СЕНТЯБРЕ-ОКТЯБРЕ 2017 ГОДА**

Высокие уровни содержания рутения-106 в приземной атмосфере наблюдались на больших территориях, и поэтому источник может находиться как на территории, где наблюдались максимальные уровни, так и на значительном удалении от этих территорий, попадая на них в результате регионального или трансграничного переноса. Эти гипотетические ситуации рассмотрены в данном разделе.

Могут иметь место различные нештатные ситуации попадания рутения-106 в окружающую среду. Это может быть, как нештатная ситуация на РОО, связанная с потерей контроля выхода летучего соединения тетраоксида рутения ( $\text{RuO}_4$ ), так и нештатная утилизация источника с рутением при его переплавке. При этом выход других радионуклидов может быть ограничен. Такая ситуация наблюдалась на ГХК в районе Красноярска в 1969-1971 гг., когда наблюдения на сети Росгидромета фиксировали только рутений-106 и рутений-103, а активность последнего достигала  $45 \text{ мБк/м}^3$ .

Образование летучей фракции этого радионуклида с последующим выбросом в атмосферу возможно при случайном попадании источника с рутением-106 в переплавку. Например, в 1998 г. в странах Европы были обнаружены повышенные концентрации в воздухе цезия-137. Оказалось, что источник с этим радионуклидом случайно попал на переплавку на металлургическом заводе и продукты его утилизации были выброшены в атмосферу. Причем, сами работники завода не знали о случившемся [6]. В апреле 2013 г. в переплавку на «Машиностроительном заводе» в городе Электросталь Московской области случайно попал источник с цезием-137, что привело к его выбросу в атмосферу и переносу по территории ряда областей России, а также в Финляндию [7].

При таких сценариях в силу высокой летучести мелкодисперсной фракции рутения возможен его трансграничный перенос на значительные расстояния. При этом необязательно наиболее высокие концентрации радионуклида будут наблюдаться вблизи места выброса в атмосферу. Например, в марте 1992 г. произошла аварийная остановка третьего энергоблока Ленинградской АЭС с последующим выбросом радионуклидов в атмосферу, в том числе изотопов рутения. При этом наблюдался атмосферный перенос радионуклидов на территорию Финляндии [8]. Согласно данным наблюдений концентрация рутения-106 в приземном воздухе на территории Финляндии составляла в марте 1992 г. 0,035-0,72 мБк/м<sup>3</sup>, и была в 50-1000 раз выше, чем на постах с ВФУ в зоне наблюдений ЛАЭС [9, 10].

## **2.1 Расчет обратных траекторий**

С целью обнаружения местоположения возможного источника выброса Ru-106 в атмосферу, выполнены расчеты траекторий обратного по времени перемещения воздушных масс на высотах 500-1500 м из мест измерений концентрации Ru-106 в пунктах Европы в течение соответствующего периода наблюдений.

На рисунке 2.1 приведены результаты расчета обратных траекторий из различных пунктов наблюдений, получивших максимальные концентрации Ru-106 за короткий период. На рисунке толстые линии соответствуют середине периода измерений, тонкие – началу и окончанию периода. Крупные отметки соответствуют началу суток (по Гринвичу), мелкие – отмечают шестичасовые интервалы.

Список пунктов наблюдений приведен в таблице 2.1.

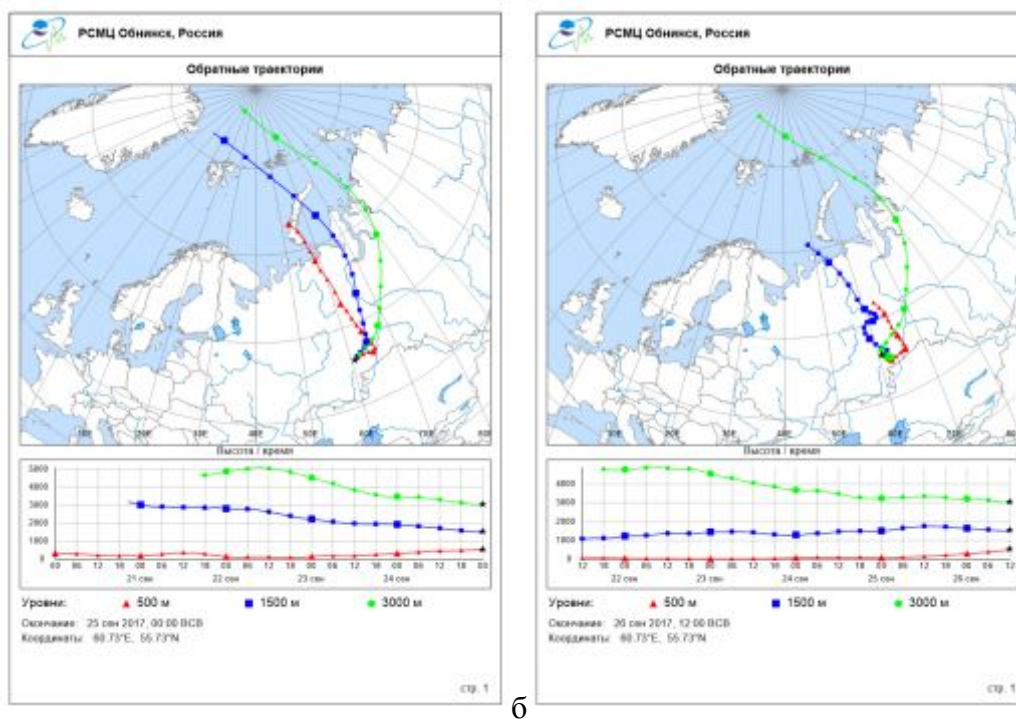
На рисунке 2.2 приведены результаты расчета обратных траекторий из района обнаружения повышенных концентраций Ru-106 на Южном Урале в период 25-26 сентября 2017 г.

Таблица 2.1 – Пункты наблюдений, выбранные для построения обратных траекторий

Пункт	Страна	Период наблюдений
Bucuresti	Romania	30.09.2017, 00:00
Cernavoda	Romania	29.09.2017, 00:00
Belgrad	Serbia	02.10.2017, 10:00
Stockholm	Sweden	01.10.2017, 09:00-02.10.2017, 09:00
Udine	Italy	03.10.2017, 00:00
Ostrava	Czech Republic	02.10.2017, 06:00-03.10.2017, 15:00
Wien	Austria	02.10.2017, 09:00-03.10.2017, 09:00



Рисунок 2.1 – Обратные траектории с мест измерений концентрации Ru-106



а

б

а) 25 сентября 00 ВСВ, б) 26 сентября 12 ВСВ

Рисунок 2.2 – Обратные траектории из района измерений концентрации Ru-106 на Южном Урале

## Выводы

По результатам расчетов можно выделить районы Южного, Среднего и Северного Урала в качестве вероятного местоположения источника поступления Ru-106 в атмосферу.

## 2.2 Возможность появления рутения-106 на территории России вследствие регионального или трансграничного переноса

С целью проверки сценариев появления Ru-106 из дальних регионов, проведен расчет траекторий перемещения воздушных масс с мест лесных пожаров в Сибири и на Дальнем Востоке, произошедших в период 20-24 сентября 2017 г.

В соответствии с данными Федерального агентства лесного хозяйства, приведенными на сайте агентства, за период с 20 по 24 сентября в Сибири и на Дальнем Востоке было зарегистрировано всего два небольших пожара – в

Бурятии 20 и 21 сентября (площадь 5 и 12 га) и в Приморском крае 21 сентября (5 га). Основываясь на спутниковых данных НИЦ «Планета» для проведения оценок были выбраны координаты пожаров, использовавшиеся в расчетах (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Лесные пожары в Сибири и Дальнем Востоке

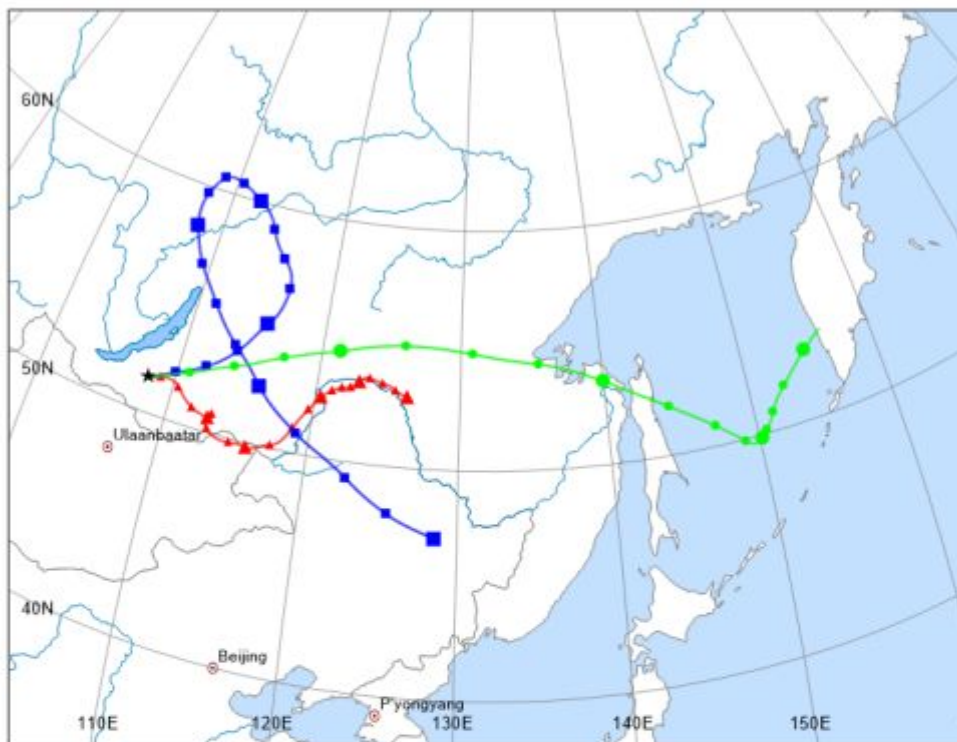
<b>Регион</b>	<b>Координаты</b>	<b>Дата</b>
Бурятия	108.17° в.д., 51.45° с.ш.	20.09.2017
Бурятия	108.17° в.д., 51.45° с.ш.	21.09.2017
Приморский край	135.93° в.д., 45.95° с.ш.	21.09.2017

На рисунках 2.3-2.5 показаны результаты расчета траекторий перемещения воздушных масс с мест лесных пожаров в Сибири и на Дальнем Востоке на высотах 500, 1500 и 3000 м.

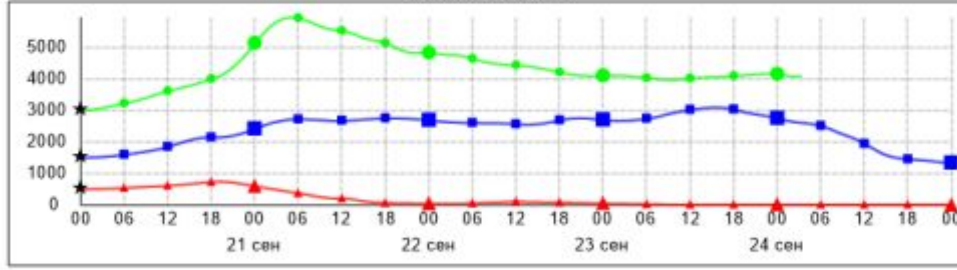




### Траектории перемещения воздушных масс



Высота / время



Уровни: ▲ 500 м      ■ 1500 м      ● 3000 м

Начало выброса: 20 сен 2017, 00:00 ВСВ  
Координаты: 108.17°E, 51.45°N

Рисунок 2.3 – Траектории перемещения воздушных масс из района пожара в Бурятии 20 сентября 2017 г.

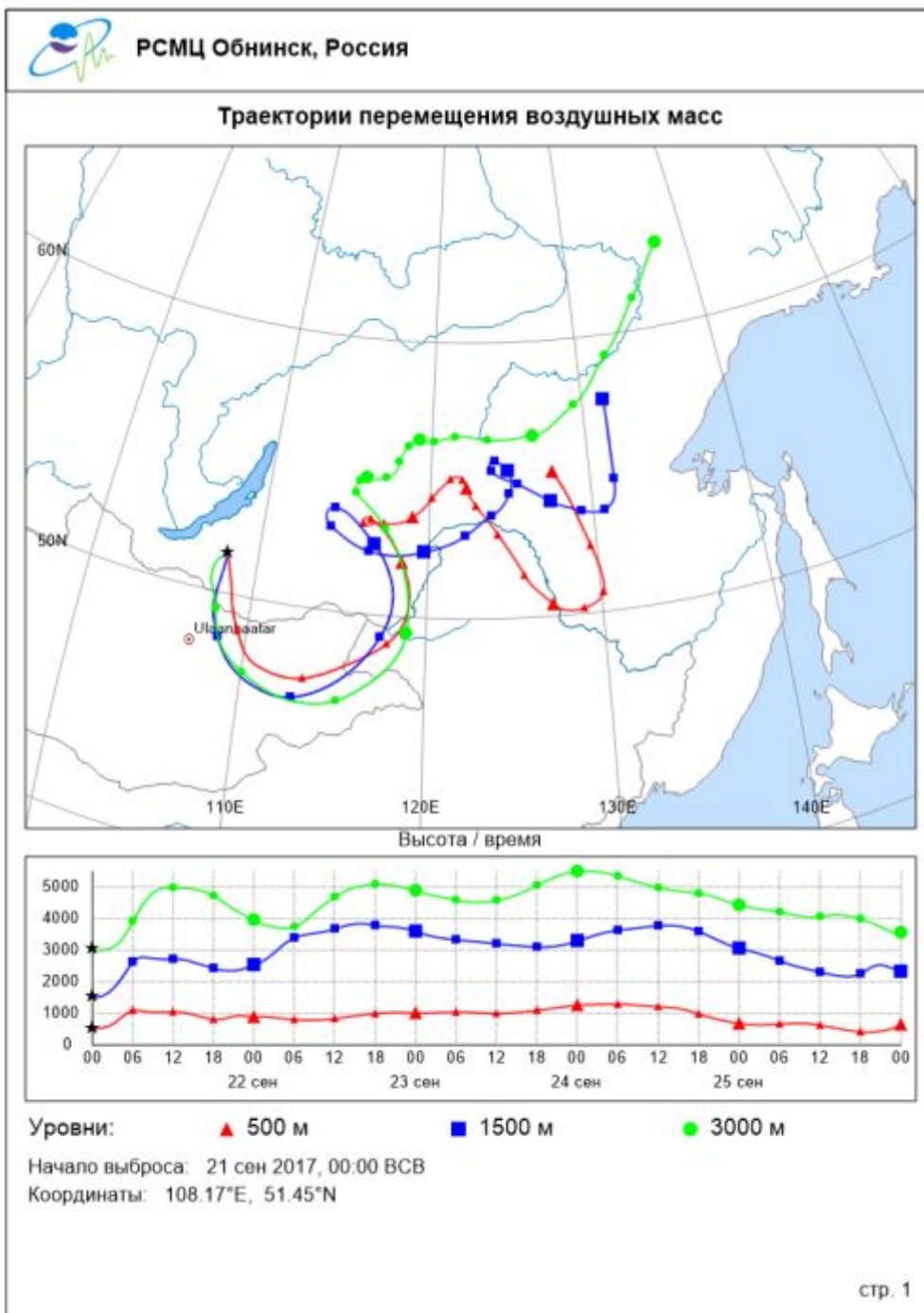


Рисунок 2.4 – Траектории перемещения воздушных масс из района пожара в Бурятии 21 сентября 2017 г.

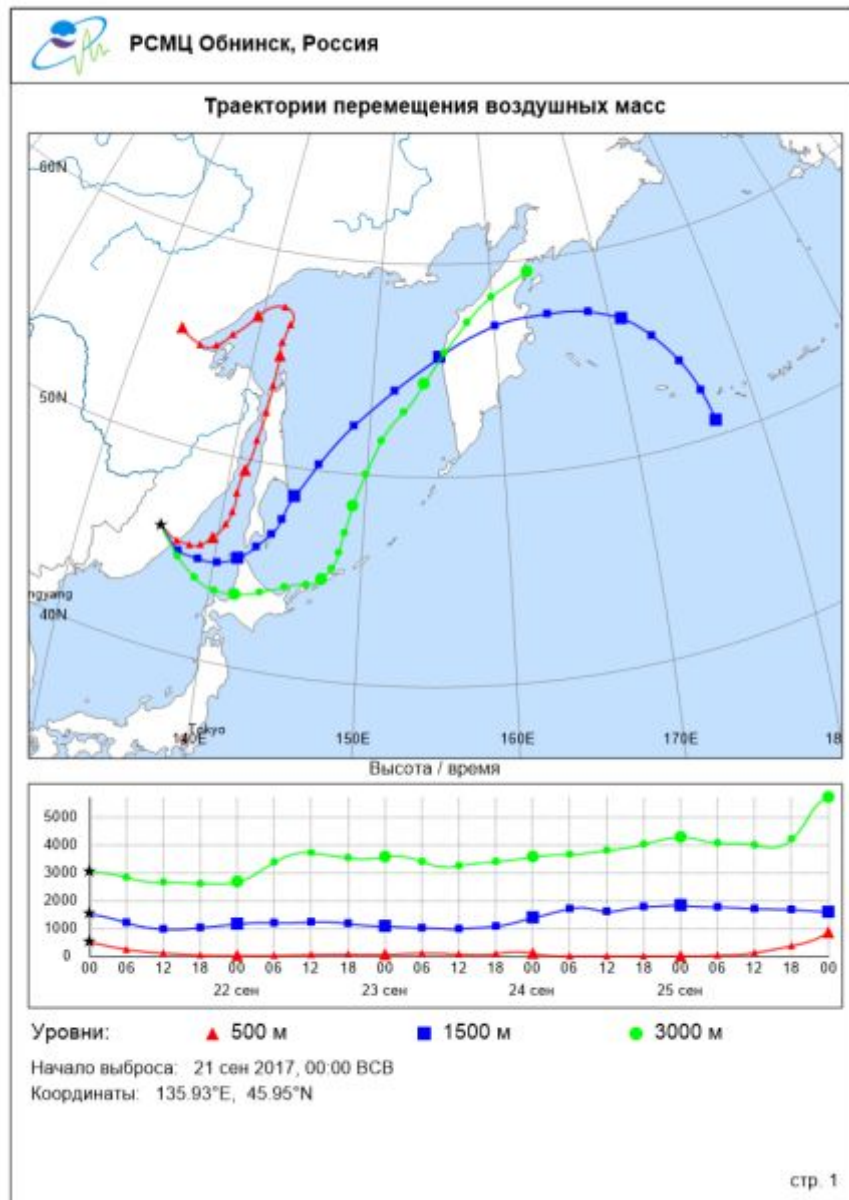


Рисунок 2.5 – Траектории перемещения воздушных масс из района пожара в Приморском крае 21 сентября 2017 г.

## Выводы

Результаты расчетов не подтверждают состоятельность сценариев поступления рутения вследствие пожаров из районов Сибири и Дальнего Востока в районы обнаружения повышенных концентраций Ru-106.

Повышенное содержание Ru-106, зафиксированное в Ленинградской и Мурманской областях, обусловлено, по-видимому, трансграничным переносом остатков Ru-106 в атмосфере из Европы.

### **2.3 Моделирование распространения рутения-106 в атмосфере от гипотетического наземного источника, расположенного на Южном или Среднем Урале**

Подготовлены сценарии и проведена серия расчетов по моделированию распространения радиоактивности в случае гипотетического выброса Ru-106 из условных источников на Южном и Среднем Урале с целью поиска варианта с наилучшим совпадением результатов моделирования с имеющимися данными измерений концентрации Ru-106 в пунктах России и Европы.

#### ***Параметры источника***

Параметры выброса рутения-106 варьировались в широком диапазоне, а именно: начало поступления 23-24 сентября 2017 г., длительность выброса – от 2 до 7 суток, мощность выброса – от 40 ТБк/сут до 250 ТБк/сут, высота выброса – от 100 до 500 м.

Анализируя траектории перемещения воздушных масс (рисунки 2.1, 2.2) можно определить временной интервал действия гипотетического наземного источника выброса рутения в районе Урала, наиболее соответствующий имеющимся данным измерений.

Ниже представлены результаты расчетов при следующих параметрах условного источника:

- координаты источника: 60.804° в.д., 55.696° с.ш.;
- начало выброса: 25 сентября 00 часов (ВСВ);
- продолжительность: 2 суток;
- начальная высота выброса: равномерное распределение в интервале 100-500 м;
- мощность источника: 250 ТБк/сут;
- скорость сухого осаждения:  $3 \cdot 10^{-4}$  м/с;
- период расчета: 10 суток.

## Результаты расчетов

На рисунке 2.6 приведены результаты расчета проинтегрированной за 10 суток приземной концентрации Ru-106 при выбросе из условного источника, расположенного в Челябинской области в районе г. Озерск.

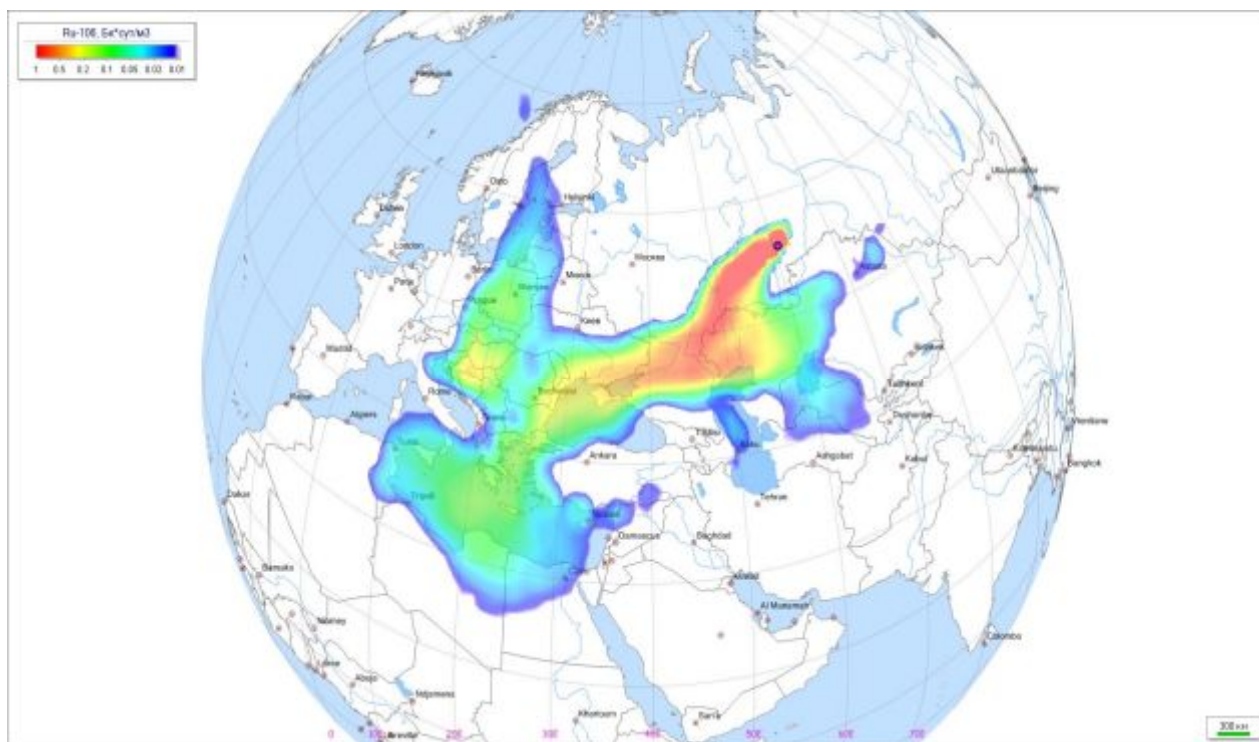


Рисунок 2.6 – Проинтегрированная за 10 суток приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования распространения Ru-106 в атмосфере

В таблице 2.3 приведены результаты измерений концентрации Ru-106 в воздухе в пунктах с экспозицией не более 2 суток (по данным МАГАТЭ) [1,2].

Таблица 2.3 – Результаты измерений концентрации Ru-106 в воздухе (по данным МАГАТЭ)

Страна	Пункт	Начало	Окончание	Ru-106, мБк/м <sup>3</sup>
Austria	Graz	02.10, 8:25	03.10, 10:16	36.0
Austria	Graz	03.10, 10:20	04.10, 7:50	13.0
Austria	Graz	04.10, 8:00	05.10, 7:00	1.0
Austria	Graz	05.10, 7:05	06.10, 7:15	1.0
Austria	Laa a/d Thaya	30.09, 19:50	01.10, 20:52	38.0

<b>Страна</b>	<b>Пункт</b>	<b>Начало</b>	<b>Окончание</b>	<b>Ru-106, мБк/м<sup>3</sup></b>
Austria	Laa a/d Thaya	01.10, 20:52	02.10, 10:13	40.0
Austria	Laa a/d Thaya	02.10, 18:45	03.10, 9:32	23.0
Austria	Wien 22.	02.10, 9:10	03.10, 9:22	46.0
Austria	Wien 22.	03.10, 9:30	04.10, 9:05	11.0
Belarus	Braslaw	03.10, 0:00	04.10, 0:00	2.7
Bulgaria	Pleven	02.10, 12:00	04.10, 12:00	24.0
Bulgaria	Vratsa	02.10, 12:00	04.10, 12:00	4.1
Croatia	Zagreb	09.10, 12:00	10.10, 12:00	0.0
Cyprus	Nicosia	02.10, 0:00	02.10, 0:00	0.0
Czech Republic	Brno	03.10, 16:00	04.10, 14:30	0.8
Czech Republic	Hradec Kralove	03.10, 6:50	03.10, 13:50	4.2
Czech Republic	Ostrava	02.10, 6:00	03.10, 15:00	40.0
Czech Republic	Ostrava	03.10, 15:00	04.10, 15:00	1.1
Czech Republic	Praha	02.10, 16:40	02.10, 20:25	1.6
Czech Republic	Praha	02.10, 20:25	03.10, 8:10	1.1
Finland	Helsinki	03.10, 0:00	04.10, 0:00	0.8
Germany	Gorlitz	02.10, 0:00	04.10, 0:00	4.6
Greece	Athens	03.10, 0:00	05.10, 0:00	2.9
Greece	Athens	03.10, 0:00	04.10, 0:00	2.2
Greece	Athens	04.10, 0:00	06.10, 0:00	0.8
Hungary	Budapest	25.09, 0:00	26.09, 0:00	2.7
Hungary	Budapest	26.09, 0:00	27.09, 0:00	1.7
Hungary	Budapest	27.09, 0:00	28.09, 0:00	2.0
Hungary	Budapest	28.09, 0:00	29.09, 0:00	1.9
Hungary	Budapest	02.10, 0:00	03.10, 0:00	27.6
Hungary	Budapest	03.10, 0:00	04.10, 0:00	9.9
Hungary	Budapest	04.10, 0:00	05.10, 0:00	2.1
Hungary	Paks	30.09, 0:00	02.10, 0:00	49.4
Italy	BELLUNO	02.10, 0:00	03.10, 0:00	18.6
Italy	BELLUNO	03.10, 0:00	04.10, 0:00	9.3
Italy	BELLUNO	04.10, 0:00	05.10, 0:00	3.0
Italy	BELLUNO	05.10, 0:00	06.10, 0:00	2.2
Italy	BERGAMO	02.10, 0:00	03.10, 0:00	12.2
Italy	BERGAMO	03.10, 0:00	03.10, 0:00	6.9
Italy	FIRENZE	30.09, 0:00	02.10, 0:00	0.5
Italy	FIRENZE	02.10, 0:00	03.10, 0:00	1.4
Italy	IVREA	05.10, 0:00	06.10, 0:00	1.2
Italy	MILANO	02.10, 0:00	02.10, 0:00	6.3
Italy	MILANO	02.10, 0:00	03.10, 0:00	3.6
Italy	MILANO	03.10, 0:00	04.10, 0:00	3.5
Italy	MILANO	04.10, 0:00	05.10, 0:00	3.1
Italy	PERUGIA	02.10, 0:00	03.10, 0:00	6.2
Italy	UDINE	02.10, 0:00	03.10, 0:00	49.1
Italy	UDINE	03.10, 0:00	03.10, 0:00	54.3
Italy	UDINE	03.10, 0:00	04.10, 0:00	30.0
Italy	UDINE	04.10, 0:00	05.10, 0:00	5.2
Italy	UDINE	04.10, 0:00	04.10, 0:00	4.2
Italy	UDINE	05.10, 0:00	06.10, 0:00	3.3

Страна	Пункт	Начало	Окончание	Ru-106, мБк/м <sup>3</sup>
Italy	VERONA	02.10, 0:00	03.10, 0:00	19.1
Italy	VERONA	03.10, 0:00	04.10, 0:00	17.4
Italy	VERONA	04.10, 0:00	05.10, 0:00	7.1
Italy	VICENZA	02.10, 0:00	03.10, 0:00	25.2
Italy	VICENZA	03.10, 0:00	04.10, 0:00	23.0
Italy	VICENZA	04.10, 0:00	05.10, 0:00	6.0
Romania	Arad	01.10, 0:00	01.10, 0:00	64.4
Romania	Arad	02.10, 0:00	02.10, 0:00	30.4
Romania	Baia Mare	01.10, 0:00	01.10, 0:00	47.5
Romania	Baia Mare	02.10, 0:00	02.10, 0:00	38.1
Romania	Baia Mare	03.10, 0:00	03.10, 0:00	24.6
Romania	Bechet	29.09, 0:00	29.09, 0:00	66.6
Romania	Bechet	30.09, 0:00	30.09, 0:00	128.0
Romania	Bechet	01.10, 0:00	01.10, 0:00	18.1
Romania	Bucuresti	29.09, 0:00	29.09, 0:00	37.9
Romania	Bucuresti	30.09, 0:00	30.09, 0:00	145.0
Romania	Bucuresti	01.10, 0:00	01.10, 0:00	18.1
Romania	Cernavoda	29.09, 0:00	29.09, 0:00	81.3
Romania	Cernavoda	30.09, 0:00	30.09, 0:00	57.9
Romania	Constanta	29.09, 0:00	29.09, 0:00	88.1
Romania	Constanta	30.09, 0:00	30.09, 0:00	44.3
Romania	Craiova	29.09, 0:00	29.09, 0:00	59.8
Romania	Craiova	30.09, 0:00	30.09, 0:00	106.0
Romania	Craiova	01.10, 0:00	01.10, 0:00	23.8
San Marino	San Marino	02.10, 12:00	02.10, 12:00	13.5
Serbia	Belgrad	02.10, 10:00	02.10, 10:00	40.0
Serbia	Belgrad	03.10, 10:00	03.10, 10:00	18.0
Serbia	Belgrad	04.10, 10:00	04.10, 10:00	5.0
Slovakia	Bratislava	29.09, 0:00	29.09, 0:00	15.0
Slovenia	Ljubljana	02.10, 10:00	04.10, 10:00	37.0
Slovenia	Ljubljana	04.10, 10:00	05.10, 10:00	4.0
Sweden	Stockholm	30.09, 8:42	01.10, 8:42	0.0
Sweden	Stockholm	01.10, 8:42	02.10, 8:42	17.0
Sweden	Stockholm	02.10, 8:42	03.10, 8:42	9.8
Switzerland	Lugano	02.10, 0:00	02.10, 23:59	0.1
Switzerland	Lugano	03.10, 0:00	03.10, 23:59	1.9
Switzerland	Lugano	04.10, 0:00	04.10, 23:59	0.3
Switzerland	Lugano	05.10, 0:00	05.10, 23:59	0.5
Ukraine	Baryshevka	28.09, 12:00	30.09, 12:00	14.9
Ukraine	Chernobyl	29.09, 12:00	01.10, 12:00	2.5
Ukraine	Kiev	28.09, 12:00	30.09, 12:00	2.2
Ukraine	Odesa	28.09, 12:00	30.09, 12:00	45.0
Ukraine	Rahiv	27.09, 12:00	29.09, 12:00	2.6

В приложении Б приведены диаграммы изменения концентрации Ru-106 в нескольких пунктах по результатам моделирования гипотетического

выброса из условных источников, расположенных в Челябинской области в районе г. Озерск и в Свердловской области в районе г. Нижний Тагил.

В приложении В представлены результаты аналогичных исследований и анализа появления рутения-106 в атмосфере при выбросе из наземного источника, проведенных специалистами ИБРАЭ РАН.

В таблице 2.4 приведены результаты сравнения данных измерений, проведенных в некоторых пунктах стран Европы, с расчетными данными, полученными при моделировании гипотетического выброса из условного источника, расположенного в Челябинской области в районе г. Озерск.

Таблица 2.4 – Сравнение результатов расчета и данных измерений концентрации рутения-106 в воздухе

Страна	Пункт	Начало	Окончание	Измерения, мБк/м <sup>3</sup>	Расчет, мБк/м <sup>3</sup>
Austria	Graz	02.10, 8:25	03.10, 10:16	36	30
Austria	Graz	03.10, 10:20	04.10, 7:50	13	10
Austria	Graz	04.10, 8:00	05.10, 7:00	1,0	1
Czech Republic	Ostrava	02.10, 6:00	03.10, 15:00	40	40
Czech Republic	Ostrava	03.10, 15:00	04.10, 15:00	1,1	1
Hungary	Budapest	25.09, 0:00	26.09, 0:00	2,7	0
Hungary	Budapest	26.09, 0:00	27.09, 0:00	1,7	0
Hungary	Budapest	27.09, 0:00	28.09, 0:00	2,0	0
Hungary	Budapest	28.09, 0:00	29.09, 0:00	1,9	0
Hungary	Budapest	02.10, 0:00	03.10, 0:00	27,6	40
Hungary	Budapest	03.10, 0:00	04.10, 0:00	9,9	30
Hungary	Budapest	04.10, 0:00	05.10, 0:00	2,1	3
Italy	Udine	02.10, 0:00	03.10, 0:00	49,1	10
Italy	Udine	03.10, 0:00	03.10, 0:00	54,3	15
Italy	Udine	03.10, 0:00	04.10, 0:00	30	3
Italy	Udine	04.10, 0:00	05.10, 0:00	5,2	1
Italy	Udine	04.10, 0:00	04.10, 0:00	4,2	1
Romania	Bucuresti	29.09, 0:00	29.09, 0:00	37,9	40
Romania	Bucuresti	30.09, 0:00	30.09, 0:00	145	150
Romania	Bucuresti	01.10, 0:00	01.10, 0:00	18,1	20
Sweden	Stockholm	30.09, 8:42	01.10, 8:42	0	0



Sweden	Stockholm	01.10, 8:42	02.10, 8:42	17	8
Sweden	Stockholm	02.10, 8:42	03.10, 8:42	9,8	10
Switzerland	Lugano	02.10, 0:00	02.10, 23:59	0,1	0,1
Switzerland	Lugano	03.10, 0:00	03.10, 23:59	1,9	0,4
Switzerland	Lugano	04.10, 0:00	04.10, 23:59	0,3	1
Switzerland	Lugano	05.10, 0:00	05.10, 23:59	0,5	0

## 2.4 Моделирование распространения рутения-106 в ближней зоне гипотетического наземного источника, расположенного на Южном Урале

Проведен расчет по моделированию распространения радиоактивности в ближней зоне в случае гипотетического выброса рутения-106 из условного источника на Южном Урале с целью сравнения результатов моделирования с имеющимися данными измерений суточных выпадений рутения-106.

При расчете принимались следующие параметры условного источника:

- координаты источника: 60.804° в.д., 55.696° с.ш.;
- начало выброса: 23 сентября 00 часов (BCB);
- продолжительность: 7 суток;
- начальная высота выброса: равномерное распределение в интервале 50-100 м;
- мощность источника: 40 ТБк/сут;
- скорость сухого осаждения:  $1 \cdot 10^{-5}$  м/с;
- период расчета: 7 суток.

На рисунке 2.7 приведены результаты расчета интегральных выпадений рутения-106 за 7 суток при данных условиях.

В таблице 2.5 приведено сравнение результатов моделирования по условиям приведенного сценария с данными измерений суточных выпадений рутения-106.

Таблица 2.5 – Сравнение результатов расчета и данных измерений суточных выпадений рутения-106, проведенных СРМ Росгидромета

Пункт	Измерения*, Бк/м <sup>2</sup>	Расчет, Бк/м <sup>2</sup>
Кыштым	51	50
Аргаяш	25	24
Новогорный	66	64
Худайбердинский	32	41
Метлино	37	110

Примечание: \* за период экспозиции 7 суток (23-30 сентября 2017 г.)

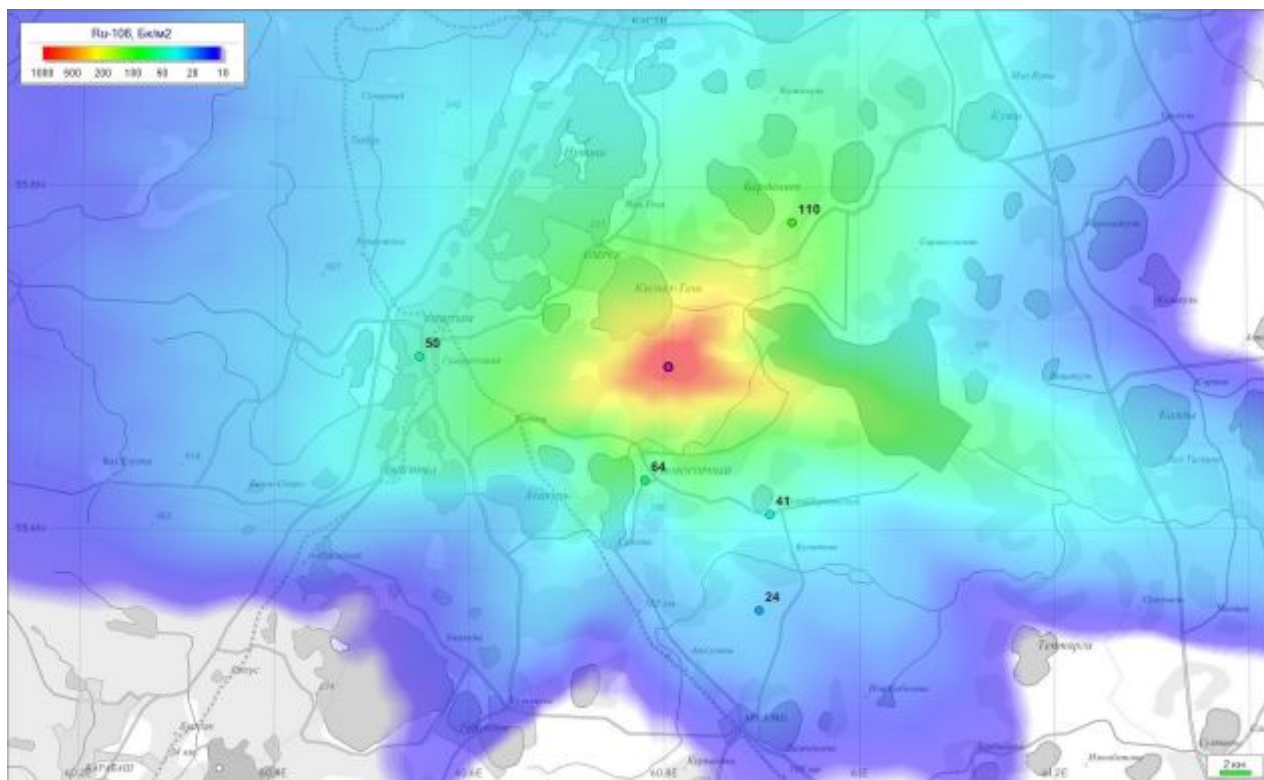


Рисунок 2.7 – Интегральные выпадения рутения-106 в ближней зоне за 7 суток по результатам моделирования (точками отмечены места и значения наземных измерений)

## Выводы

Результаты моделирования (как в региональном, так и в локальном масштабе) распространения рутения-106 из условных источников, расположенных на Южном и Среднем Урале, с учетом принятых значений параметров расчета, показывают хорошее соответствие с данными измерений, представленными МАГАТЭ и Росгидрометом.

Сходство результатов расчетов по двум вариантам сценариев регионального переноса говорит о том, что вероятный источник мог находиться в любом месте Южного и Среднего Урала.

По данным измерений суточных выпадений рутения-106, проведенных СРМ Росгидромета, повышенные выпадения регистрировались в период с 23 по 30 сентября, то есть гипотетический источник действовал в течение этого периода. При этом, повышенные концентрации рутения-106 в Европе (при региональном переносе) обусловлены, по-видимому, выбросом в период 25-26 сентября.

### **3 АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЯВЛЕНИЯ РУТЕНИЯ-106 ИЗ СТРАТОСФЕРЫ И ВЕРХНЕЙ ТРОПОСФЕРЫ В СЕНТЯБРЕ-ОКТАБРЕ 2017 ГОДА**

#### **3.1 Анализ возможности поступления рутения-106 из стратосферы**

Турбулентный обмен между тропосферой и стратосферой очень слаб (и обычно пренебрежимо мал) вследствие очень высокой устойчивости стратификации в слое тропопаузы и в стратосфере. Однако в определенных метеоусловиях возникают условия для стратосферно-тропосферного обмена не через механизм турбулентности, а через другие механизмы. В ходе стратосферно-тропосферного обмена значительные массы стратосферного воздуха, включающие в себя мелкие стратосферные частицы, попадают в тропосферу и могут быть перенесены в приземные слои. Поэтому в качестве одной из версий появления рутения-106 вблизи земной поверхности можно рассматривать его появление из стратосферы.

В ФГБУ «Гидрометцентр России» было выполнено исследование стратосферно-тропосферного обмена над европейской территорией России и Уралом в период с 23 сентября по 5 октября 2017 г. (Приложение Г), то есть в первоначальный период обнаружения рутения-106 в России.

Согласно современным представлениям, стратосферно-тропосферный обмен происходит в результате крупномасштабных движений в высотных фронтальных зонах, когда возникают глубокие вертикальные циркуляции с опусканием тропопаузы и вышележащего стратосферного воздуха на тропосферные уровни (иногда – до земли) и «выпячивания» куполов тропосферного воздуха на стратосферные уровни. Другим, менее масштабным, механизмом является глубокая конвекция (внедрение кучево-дождевых облаков в стратосферу и опускание стратосферного воздуха в нисходящих потоках внутри облаков).

В изучаемый период барическое поле у земли и в тропосфере над европейской Россией и Уралом характеризовалось наличием устойчивого (блокирующего) антициклона с центром в районе Прибалтики и Белоруссии. По его восточной и южной перифериям в высотной фронтальной зоне смещались участки малоинтенсивного струйного течения с ветрами северо-восточного и северного направлений.

Топография тропопаузы, подробно проанализированная по результатам расчета (с помощью концепции динамической тропопаузы), на большей части области располагалась на высотах около 12 км. В пределах высотной фронтальной зоны к западу и к югу от Урала, а также над югом Украины и центральной Европы возникали неглубокие (до высот 6,5-7 км над уровнем моря) понижения тропопаузы, которые, ввиду их малой глубины, не могут рассматриваться как стратосферные вторжения. Тем более нет никаких оснований предполагать, что в этих областях стратосферный воздух мог проникать до земли.

Конвективная деятельность над ЕТР и Уралом в изучаемый период была слабой. Только на востоке области отмечалась мелкая конвекция (с верхней границей облаков 3-4 км). Над Центральной и Западной Европой конвекция была несколько более развита (до 6-8 км). Глубокая (до 11-12 км) конвекция отмечалась над Кавказом. При доминирующей высоте тропопаузы около 12 км облака над ЕТР и Уралом далеко не достигали тропопаузы и, следовательно, не могли переносить стратосферный воздух в нижние слои.

Таким образом, стратосферно-тропосферный обмен в период с 23 сентября по 5 октября 2017 г. практически отсутствовал, так что вторжений стратосферного воздуха в нижние слои не наблюдалось.

Этот вывод подтверждается тем фактом, что, по данным радиометрической сети Росгидромета, на станциях ЕТР и Урала не отмечено повышенных концентраций изотопа Ве-7, известного как трассер стратосферного воздуха.

Следовательно, версия поступления рутения-106 из стратосферы в период с 23 сентября по 5 октября, исходя из проведенного исследования ФГБУ «Гидрометцентр России» (Приложение Г), не находит подтверждения.

### **3.2 Версия поступления рутения-106 в атмосферу в результате падения космического аппарата**

Специалисты ФГУП «ПО «Маяк» считают, что наиболее вероятным сценарием поступления рутения-106 в атмосферу над территорией Европы 24 сентября – 4 октября 2017 года следует считать падение (сгорание в атмосфере) космического аппарата (искусственного спутника Земли) на борту которого находился источник рутения-106 с активностью не менее 20 ТБк [11].

По этой версии падение космического аппарата на Землю ориентировочно произошло в период 20-24 сентября 2017 года и проходило по траектории (с запада на восток): южная часть Западной Европы (Венгрия, Румыния) – Северный Кавказ – территория Южного Урала (северная часть Челябинской области, в районе расположения ФГУП «ПО Маяк»). В последующем траектория падения космического аппарата пролегла над малообитаемыми участками территории России вне пунктов радиационного мониторинга.

Указанный сценарий, также как и сценарий со случайной переплавкой рутениевого источника, позволяет объяснить моноизотопный характер поступления рутения-106 в атмосферу.

Однако данная версия не имеет в настоящее время какого-либо реального подтверждения, в связи с тем, что представленные Госкорпорацией «Росатом» данные о космических аппаратах, ступенях ракет-носителей и разгонных блоках, прекративших своё баллистическое существование, не подтверждают возможность поступления радиоактивности в атмосферу при их сгорании в сентябре 2017 г.

Кроме того, сгорание космического аппарата, происходящее в верхних слоях атмосферы и в стратосфере, не могло привести к появлению радиоактивности в приземном слое из-за отсутствия стратосферно-тропосферного обмена в рассматриваемый период над ЕТР и Уралом (Приложение Г).

### **3.3 Версия поступления рутения-106 в приземную атмосферу из верхней тропосферы**

Если выброс рутения-106 произошел в результате некоего взрыва, или в условиях чрезвычайных ситуации типа сильного природного пожара, то он мог первоначально в составе аэрозольной фракции достичь уровней верхней тропосферы - нижней стратосферы. На этих высотах аэрозоль может переноситься на тысячи километров и при наличии определенных метеоусловий опускаться в нижнюю тропосферу и, в конечном счете, достигать поверхности земли.

По данным дистанционного зондирования на лидарной сети Росгидромета и в Институте оптики атмосферы (СО РАН) в г. Томске в августе-октябре 2017 г. в нижней стратосфере часто наблюдались слои повышенного аэрозольного рассеяния. Обратный траекторный анализ показал, что источником аэрозоля над г. Обнинск являются лесные пожары в Северной Америке, сопровождавшиеся образованием пирокумулюсов. Детали проведенных исследований содержатся в Приложении Д. В принципе, в результате происшедшего где-либо стратосферно-тропосферного обмена аэрозоль из стратосферы мог проникнуть и в верхнюю тропосферу.

В особом случае 21.09.2017 г. распространение аэрозольных примесей с территории Северной Америки происходило не только в стратосфере, но и в верхней тропосфере (рисунок 3.1). Тропопауза 21.09.2017 г. находилась на уровне 12 км. Из рисунка 3.1 видно, что в слое толщиной 4 км под тропопаузой содержится аэрозольный слой, который по величине обратного рассеяния составляет около 50% от рэлеевского при фоновом уровне около

10%. Степень деполяризации аэрозольного обратного рассеяния показывает, что аэрозоль является сферическим.

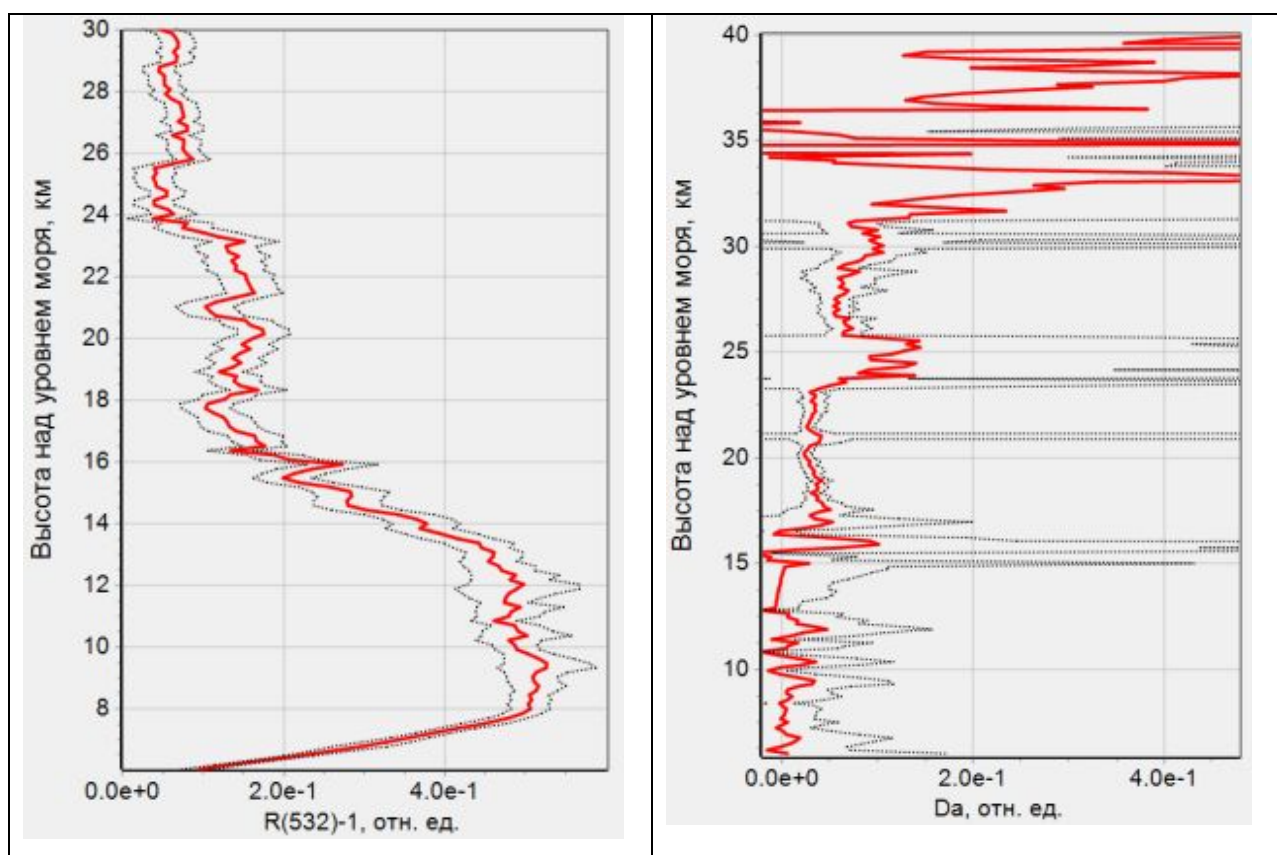


Рисунок 3.1 – Высотные профили отношения обратного рассеяния R(532) (слева) и степени деполяризации аэрозольного обратного рассеяния (справа) на 21.09.2017 г.

Происхождение аэрозольного слоя, наблюдавшегося 21.09.2017 г. на высотах 8-10 км раскрывает обратный траекторный анализ, проведенный на 10 дней назад от даты измерений 21.09.2017 г. (рисунок 3.2). Из рисунка 3.2 видно, что идет подъем траекторий со всех уровней тропосферы (начиная с 2 км) над территорией США. Часть траекторий проходит в зоне лесных пожаров, а также в районе п-ова Флорида, где наблюдался выход на сушу тропического урагана Ирма.



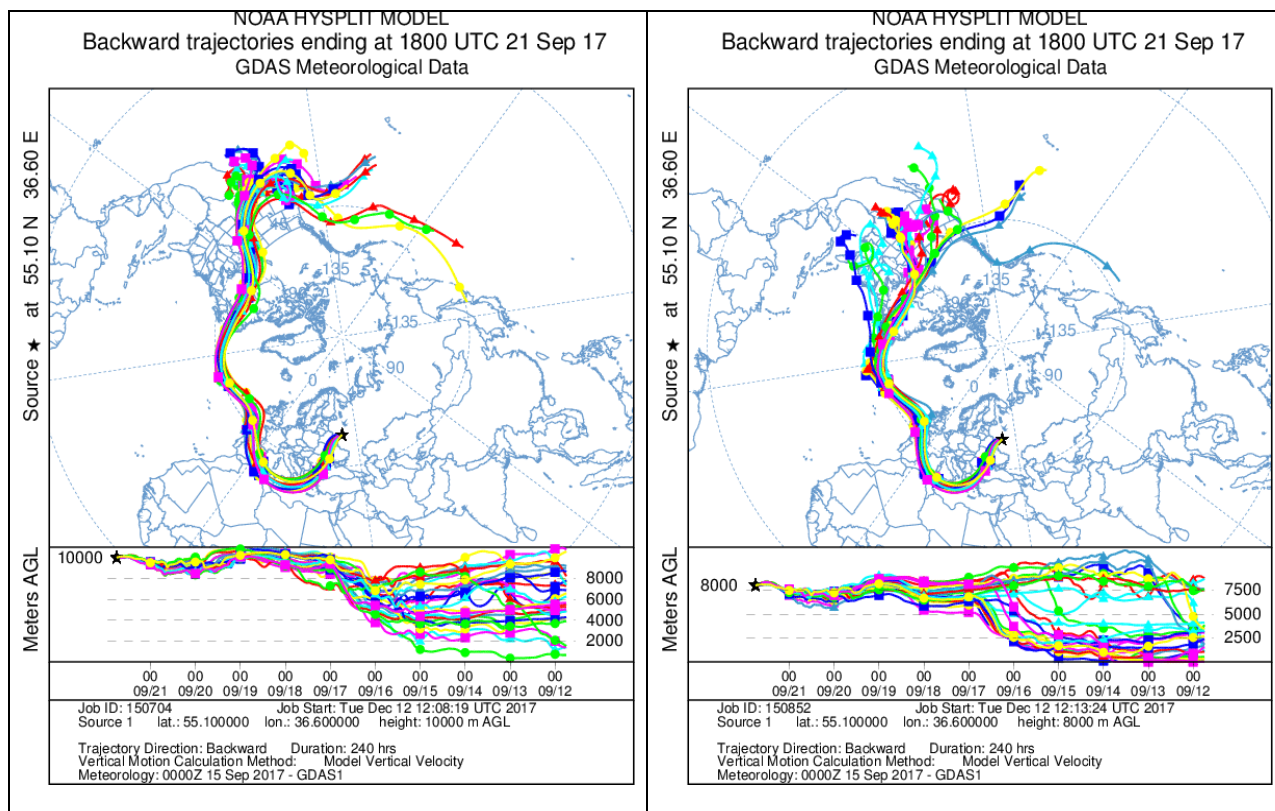


Рисунок 3.2 – Обратные траектории на дату 21.09.2017 г. с высот 10 км (слева) и 8 км (справа)

Для прояснения дальнейшей судьбы аэрозольного слоя воспользуемся данными анализа метеорологической ситуации над Европейской территорией России и Уралом в период от 23 сентября до 5 октября 2017 г., проведенного в Гидрометцентре (полный текст см. в Приложении Г). По результатам анализа сделан вывод о том, что в рассматриваемый период условий для стратосферно-тропосферного обмена не было (см. раздел 3.2). Однако, по тем же данным, в пределах высотной фронтальной зоны к западу и к югу от Урала, а также над югом Украины и центральной Европы возникали «понижения тропопаузы до уровня 6,5-7 км над уровнем моря». Поскольку по данным лидарных измерений аэрозольный слой проник глубоко в тропосферу, как минимум на 4 км ниже тропопаузы, то в областях максимального понижения тропопаузы он мог опуститься до высоты 2,5 км, т.е. достичь пограничного слоя атмосферы и, в конечном счете, за счет турбулентного обмена дойти до поверхности земли.

На рисунке 3.3 (воспроизведение рисунка Г.6 из справки ГМЦ России, см. Приложение Г) показана карта высоты тропопаузы на 24 сентября 2017 г. На рисунке видны несколько областей понижения тропопаузы. Одна из них (вблизи черной точки) находится недалеко от пункта измерений Кыштым (55,7° с.ш., 60,5° в.ш.). Как раз в Кыштыме 23-24 сентября были впервые зафиксированы высокие концентрации рутения-106 (таблица 1.1) – 50 Бк/м<sup>2</sup> в сутки, причем это самые высокие уровни за все время измерений. Такое совпадение вряд ли может быть случайным. Оно указывает на возможность проникновения рутения-106 из верхней тропосферы с дальнейшим распространением в пограничном слое атмосферы.

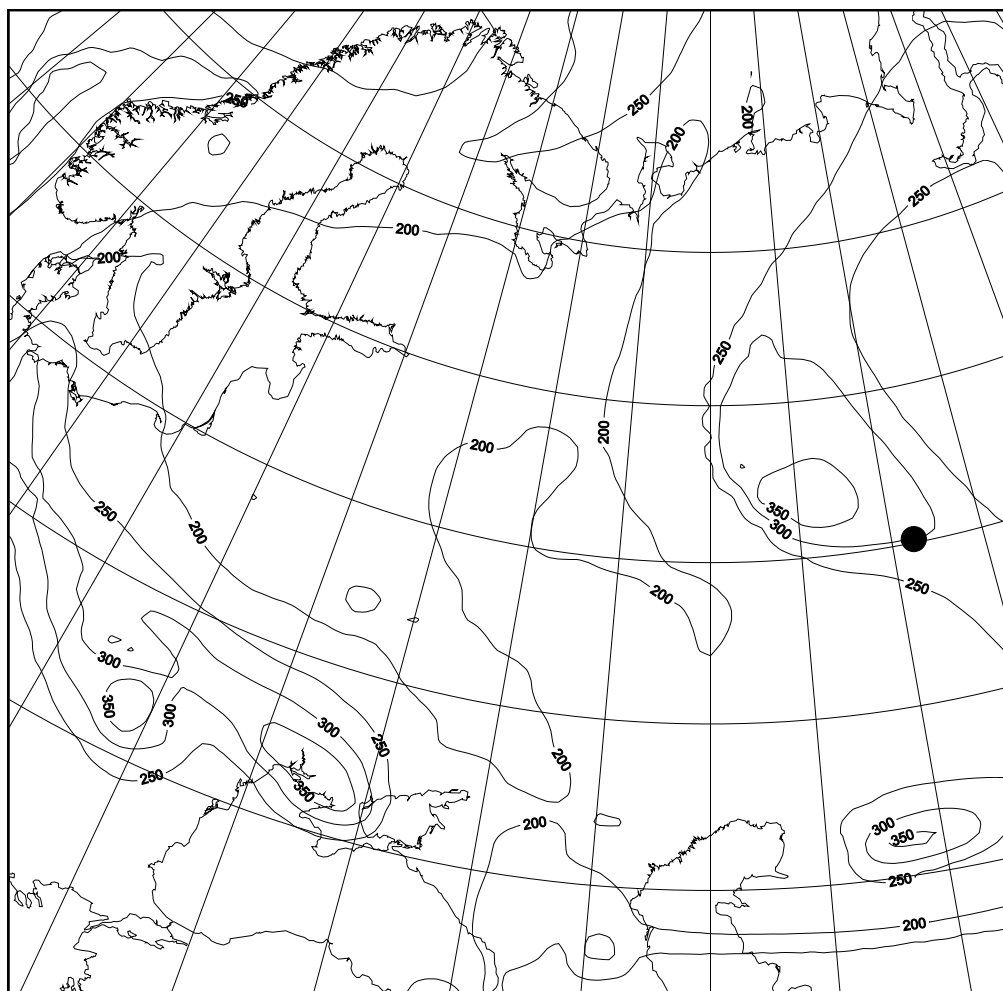


Рисунок 3.3 – Карта высоты тропопаузы на 24 сентября над ЕТР и Уралом (воспроизведена из справки ГМЦ, Приложение Г)

Указанные соображения носят характер правдоподобной гипотезы. Прямых доказательств переноса радиоактивного аэрозоля, наблюдавшегося 21.09.2017 г. над Обнинском до поверхности земли в отдельных областях Урала, Украины и Центральной Европы на данный момент нет. Одной из причин такой ситуации является недостаток экспериментальных данных по аэрозольной компоненте в верхней тропосфере над территорией РФ. В настоящее время развернута лидарная сеть Росгидромета из 7 станций, но измерения на ней не проводятся (за исключением базовой станции в Обнинске).

### **Выводы**

Стратосферно-тропосферный обмен в период с 23 сентября по 5 октября 2017 г. практически отсутствовал, так что вторжений стратосферного воздуха в нижние слои не наблюдалось. Этот вывод подтверждается данными радиометрической сети Росгидромета (станции ЕТР и Урала), на которых не зарегистрировано повышенных концентраций изотопа Be-7, известного как трассер стратосферного воздуха. Таким образом версия поступления рутения-106 из стратосферы период с 23 сентября по 5 октября не находит подтверждения.

Вместе с тем в пределах высотной фронтальной зоны к западу и к югу от Урала, а также над югом Украины и центральной Европы возникали «понижения тропопаузы до уровня 6,5-7 км над уровнем моря». Поскольку по данным лидарных измерений аэрозольный слой проник глубоко в тропосферу, как минимум на 4 км ниже тропопаузы, то в областях максимального понижения тропопаузы он мог опуститься до высот порядка 2,5 км, т.е. достичь пограничного слоя атмосферы и, в итоге, за счет турбулентного обмена дойти до поверхности земли. В частности, такое понижение тропопаузы наблюдалось вблизи г. Кыштым 24 сентября 2017 г. В это время в пункте «Кыштым» впервые зафиксирована высокая концентрация рутения-106. Данное совпадение указывает на высокую

вероятность проникновения рутения-106 из верхней тропосферы с дальнейшим распространением в пограничном слое атмосферы.

Траекторный анализ показал, что в этом случае воздушные потоки с наблюдаемым в верхней тропосфере аэрозолем пришли с территории США (там наблюдались сильные пожары), и, частично, с юго-востока США (окрестности п-ова Флорида, где произошел выход на сушу тропического урагана Ирма). В условиях чрезвычайных ситуаций, вызванных указанными природными явлениями, возможны нарушения условий хранения радиоактивных материалов, в частности рутения-106, и его неконтролируемого проникновения в атмосферу.

Однако в настоящее время нет подтверждения, что наблюдаемый аэрозольный слой в верхней тропосфере содержал рутений-106. Проведенный в период с 18 по 20 декабря 2017 года с помощью специальных авиационных средств отбор проб тропосферного аэрозоля и их дальнейший спектрометрический анализ не показал наличия рутения-106 (см. параграф 1.2).

### **Предложения**

Более полную информацию по аэрозольному содержанию в нижней стратосфере в период наблюдения в атмосфере рутения-106 можно было бы получить по данным измерений на семи лидарных станциях Росгидромета, развернутых на территории РФ и, в частности, в Санкт-Петербурге, Знаменске и Ардоне в Европейской части РФ. К сожалению, регулярные измерения на лидарной сети сейчас не проводятся.

Опыт работы по исследованию причин появления рутения-106 в атмосфере показывает целесообразность поддержки и развития сети лидарного зондирования Росгидромета, созданной в рамках федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на период 2008-2015 годы».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### **Возможные причины и источники поступления рутения-106 на территории РФ в сентябре-октябре 2017 года**

#### ***Выброс рутения-106 в атмосферу из наземного источника***

Могут иметь место различные нештатные ситуации попадания рутения-106 в окружающую среду. Это может быть нештатная ситуация на РОО, связанная с потерей контроля выхода летучего соединения тетраоксид рутения ( $\text{RuO}_4$ ). При этом выход других радионуклидов может быть ограничен. Образование летучей фракции этого радионуклида с последующим выбросом в атмосферу возможно при случайном попадании источника с рутением-106 в переплавку. В силу высокой летучести мелкодисперсной фракции рутения возможен его трансграничный перенос на значительные расстояния. При этом наиболее высокие концентрации радионуклида необязательно будут наблюдаться вблизи места выброса в атмосферу. Например, в марте 1992 г. произошла нештатная остановка третьего энергоблока Ленинградской АЭС с последующим выбросом радионуклидов в атмосферу, в том числе изотопов рутения. При этом наблюдался атмосферный перенос радионуклидов на территорию Финляндии [8]. Согласно данным наблюдений, концентрация рутения-106 в приземном воздухе на территории Финляндии составляла в марте 1992 г. 0,035-0,72 мБк/м<sup>3</sup>, и была в 50-1000 раз выше, чем на постах с ВФУ в зоне наблюдений ЛАЭС [9,10].

С целью обнаружения местоположения возможного источника выброса Ru-106 в атмосферу, выполнены расчеты траекторий обратного по времени перемещения воздушных масс на высотах 500-1500 м из мест измерений концентрации Ru-106 в пунктах Европы в течение соответствующего периода наблюдений.

По результатам расчетов в качестве вероятного местоположения источника поступления Ru-106 в атмосферу выделены районы Южного и Среднего Урала. На основе анализа траекторий перемещения воздушных масс определен временной интервал действия гипотетического наземного источника выброса рутения в районе Южного и Среднего Урала, наиболее соответствующий имеющимся данным измерений.

Подготовлены сценарии и проведена серия расчетов по моделированию распространения радиоактивных аэрозолей в случае гипотетического выброса Ru-106 из условных источников на Южном и Среднем Урале с целью поиска варианта с наилучшим совпадением результатов моделирования с имеющимися данными измерений концентрации Ru-106 в пунктах России и Европы.

Параметры выброса рутения-106 варьировались в широком диапазоне, а именно: начало поступления 23-24 сентября 2017 г., длительность выброса – от 2 до 7 суток, мощность выброса – от 40 ТБк/сут до 250 ТБк/сут, высота выброса – от 100 до 500 м.

Результаты моделирования (как в региональном, так и в локальном масштабе) распространения рутения-106 из условных источников, расположенных на Южном и Среднем Урале, с учетом принятых значений параметров расчета, показывают хорошее соответствие с данными измерений, представленными МАГАТЭ и Росгидрометом.

Сходство результатов расчетов по разным вариантам сценариев регионального переноса говорит о том, что вероятный источник мог находиться в любом месте Южного и Среднего Урала.

По данным измерений суточных выпадений рутения-106, проведенных СРМ Росгидромета, повышенные выпадения регистрировались в период с 23 по 30 сентября, то есть гипотетический источник действовал в течение этого периода. При этом, повышенные концентрации рутения-106 в Европе (при региональном переносе) обусловлены, по-видимому, выбросом в период 25-26 сентября.

Вместе с тем, представленные данные системы государственного и ведомственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов о количестве и активности источников, содержащих рутений-106, говорят, что на территории Российской Федерации отсутствуют открытые и закрытые радионуклидные источники достаточной активности, чтобы сформировать наблюдаемую картину содержания рутения-106 в атмосферных аэрозолях и атмосферных выпадениях. Соответственно, источниками наземного выброса рутения-106, могли быть объекты использования атомной энергии, на которых в ходе технологических процессов не исключено выделение данного радионуклида в больших количествах.

***Региональный или трансграничный перенос от наземного источника***

С целью проверки сценариев появления Ru-106 из дальних регионов, проведен расчет траекторий перемещения воздушных масс с мест лесных пожаров в Сибири и на Дальнем Востоке, произошедших в период 20-24 сентября 2017 г. В соответствии с данными Федерального агентства лесного хозяйства, за период с 20 по 24 сентября в Сибири и на Дальнем Востоке было зарегистрировано всего два небольших пожара – в Бурятии 20 и 21 сентября (площадь 5 и 12 га) и в Приморском крае 21 сентября (5 га).

Результаты расчетов не подтверждают состоятельность сценариев поступления рутения вследствие пожаров из районов Сибири и Дальнего Востока в районы обнаружения повышенных концентраций Ru-106.

Повышенное содержание Ru-106, зафиксированное в Ленинградской и Мурманской областях, обусловлено трансграничным переносом остатков Ru-106 в атмосфере из Центральной Европы.

### ***Возможность поступления рутения-106 из стратосферы***

Согласно результатам анализа специалистов ФГБУ «Гидрометцентр России» стратосферно-тропосферный обмен в период с 23 сентября по 5 октября 2017 г. практически отсутствовал.

По данным радиометрической сети Росгидромета, на станциях ЕТР и Урала не отмечено повышенных концентраций изотопа Be-7, известного как трассер стратосферного воздуха.

Следовательно, версия поступления рутения-106 из стратосферы период с 23 сентября по 5 октября не находит подтверждения.

### ***Поступление рутения-106 в атмосферу в результате падения космического аппарата***

По этой версии падение космического аппарата на Землю произошло ориентировочно в период 20-24 сентября 2017 г. и проходило по траектории (с запада на восток): южная часть Западной Европы (Венгрия, Румыния) - Северный Кавказ - территория Южного Урала (северная часть Челябинской области, в районе расположения ФГУП «ПО Маяк»). В последующем траектория падения космического аппарата пролегла над малообитаемыми участками территории России вне пунктов радиационного мониторинга.

Однако данная версия не имеет в настоящее время какого-либо реального подтверждения, в связи с отсутствием достоверной информации о падении на Землю космических аппаратов, использующих рутениевые источники, в сентябре 2017 г., в том числе на основании данных, полученных от Государственной корпорации «Роскосмос» о космических аппаратах, ступенях ракет-носителей и разгонных блоках, прекративших своё баллистическое существование в период с января 2016 г. по декабрь 2017 г.

Кроме того, сгорание космического аппарата, происходящее в верхних слоях атмосферы и в стратосфере, не могло привести к появлению рутения-106 в приземном слое из-за отсутствия стратосферно-тропосферного обмена в рассматриваемый период над ЕТР и Уралом.



### ***Поступление рутения-106 в приземную атмосферу из верхней тропосферы***

В пределах высотной фронтальной зоны к западу и к югу от Урала, а также над югом Украины и центральной Европы возникали «понижения тропопаузы до уровня 6,5-7 км над уровнем моря». По данным лидарных измерений аэрозольный слой в областях максимального понижения тропопаузы мог опуститься до высот порядка 2,5 км, т.е. достичь пограничного слоя атмосферы и, в итоге, за счет турбулентного обмена дойти до поверхности земли. В частности, такое понижение тропопаузы наблюдалось вблизи г. Кыштым 24 сентября 2017 г. В это время в пункте «Кыштым» впервые зафиксирована высокая концентрация рутения-106. Данное совпадение указывает на высокую вероятность проникновения рутения-106 из верхней тропосферы с дальнейшим распространением в пограничном слое атмосферы.

Траекторный анализ показал, что в этом случае воздушные потоки с наблюдаемым в верхней тропосфере аэрозолем пришли с территории США (там наблюдались сильные пожары), и, частично, с юго-востока США (окрестности п-ова Флорида, где произошел выход на сушу тропического урагана Ирма). В условиях чрезвычайных ситуаций, вызванных указанными природными явлениями, имелась возможность нарушения условий хранения радиоактивных материалов, в частности рутения-106, и его неконтролируемого проникновения в атмосферу.

Однако в настоящее время нет подтверждения, что наблюдаемый в верхней тропосфере аэрозольный слой содержал рутений-106.

Имеющиеся в настоящее время данные недостаточны для однозначного определения причины и источника появления в атмосфере на территории Российской Федерации рутения-106. Наиболее вероятно, что первичный источник поступления рутения-106 в приземные слои атмосферы, которое впоследствии регистрировалось системами мониторинга радиационной

обстановки Российской Федерации и европейских стран, находился на территории Уральского федерального округа (Свердловская, Челябинская области).

В настоящее время не существует реальной возможности получения дополнительных данных о содержании рутения-106 в объектах окружающей среды, которые помогли бы уточнить представленные выводы.

### **Недостатки современной системы мониторинга радиационной обстановки**

На данный момент времени в результате более чем двадцатилетнего процесса создания ЕГАСКРО/ЕГАСМРО создана базовая инфраструктура системы, позволяющая обеспечить ее функционирование.

Несмотря на обнаружение поступления рутения-106 в атмосферу в штатном режиме работы СРМ Росгидромета и отсутствие значимой угрозы воздействия наблюдавшихся концентраций рутения-106 в приземном воздухе на здоровье населения следует отметить существенные недостатки современной системы мониторинга радиационной обстановки и реагирования на возможные радиационные угрозы.

Существующие системы радиационного мониторинга не имеют возможности оперативного выявления изменения в радиационной обстановке по данным текущих наблюдений. Это означает, что при отсутствии оповещения о возникновении нештатной ситуации, системы не смогут своевременно перейти на учащенный режим наблюдений для обоснования эффективных решений и выявления источника заражения.

Принятый в настоящее время на СРМ регламент отбора проб радиоактивных аэрозолей (5 суток) согласуется с международными требованиями к ведению радиационного мониторинга, в Европе экспозиция аэрозольных фильтров составляет от 5 до 10 дней. Однако это не позволяет определить момент нештатного или аварийного радиационного события, затрудняет определение источника выброса радионуклидов и прогноз

радиационной обстановки. Требуется дополнительный непрерывный on-line контроль мощности гамма-дозы, суммарных бета- и альфа-активностей фильтров.

В ряде лабораторий СРМ, спектрометрическое оборудование устарело. Необходимо расширить количество лабораторий, выполняющих спектрометрический анализ и обновить устаревшую аппаратуру, а также дооснастить сеть воздухо-фильтрующими установками нового поколения с автоматическими датчиками суммарной бета- и гамма-активности под фильтром.

Локальные системы мониторинга радиационно-опасных объектов на территории России не обладают необходимой чувствительностью и оперативностью, и не позволяют надежно обнаруживать нештатное поступление радионуклидов в окружающую среду. Существующие системы АСКРО, ориентированные на контроль МАЭД, не позволяют выявить загрязнение окружающей среды бета- и альфа-излучающими радионуклидами. На ряде РОО Госкорпорации «Росатом» используются устаревшие нерепрезентативные средства отбора проб, не внедряются современные автоматические средства наблюдения, оснащенные алармовыми системами и позволяющими в первые часы наступления опасной радиационной ситуации отреагировать и предотвратить дальнейшее распространение радиоактивных веществ в окружающую среду. Такие устаревшие системы эффективны скорее для создания видимости радиационного контроля окружающей среды, а не реального оперативного обнаружения изменений радиационной обстановки.

Системы радиационного мониторинга не имеют возможности оперативного выявления изменения радиационной обстановки по данным наблюдений. Это означает, что при отсутствии оповещения о возникновении нештатной ситуации, системы не смогут своевременно перейти на учащенный режим наблюдений для обоснования эффективных решений и выявления источника.

Локальные радиометрические сети в системе радиационного мониторинга Госкорпорации «Росатом» используют различные программы, средства и методики наблюдений, что затрудняет, а иногда и исключает возможность сопоставления и объединение данных о радиационной обстановке на различных территориях РФ.

Локальная система мониторинга Госкорпорации «Росатом» в районе ФГУП «ПО «Маяк» использует методы и средства наблюдений (конуса, планшеты с низкими бортиками и длительной экспозиций), которые не могут быть использованы для оценки радиационной обстановки, в том числе и в качестве индикаторов ее изменения.

Данные о радиационной обстановке, получаемые радиометрическими сетями Росгидромета и Госкорпорации «Росатом» не сопоставимы и не могут быть объединены для получения пространственной картины загрязнения. В результате анализ пространственных закономерностей распространения по территории РФ проводился только на основе результатов измерений, полученных на сети Росгидромета, что привело к значительной неопределенности в определении места нахождения возможного источника выброса рутения-106.

### **Недостатки современной системы информирования об изменении радиационной обстановки**

Развитие событий, связанных с регистрацией повышенных уровней загрязнения окружающей среды рутением-106, продемонстрировало важность информирования органов власти даже о таких инцидентах, которые собственно не являются авариями, чрезвычайными ситуациями с радиационным фактором, или в отношении которых не установлено, что они должны быть признаны таковыми. Также рассмотренные ситуации продемонстрировали недостаточность существующих организационных мер по информированию органов власти о таких событиях.

Существующая в Российской Федерации система оперативного оповещения органов власти ориентирована в первую очередь на информирование в случае, если установлено, что повышенное загрязнение связано с эксплуатацией конкретного объекта использования атомной энергии или же по факту чрезвычайной ситуации, чего в случае инцидента с рутением-106 не наблюдалось.

Для обеспечения своевременного и корректного информирования об инцидентах, которые не являются авариями, целесообразно внесение изменений в ряд нормативных правовых актов, регламентирующих обмен информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в частности в Порядок сбора и обмена в Российской Федерации информацией в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 24.03.1997 г. № 334.

В этом смысле положительной является зарубежная практика, примером которой является подход, принятый во Франции с учетом опыта аварии на АЭС Фукусима-Дайичи. В национальном плане аварийного реагирования Франции предусмотрены меры аварийного реагирования на так называемые «ситуации неопределенности». Данные меры в первую очередь направлены на обеспечение готовности к работе (в том числе со СМИ) в «ситуациях неопределенности».

Следует отметить, что характеристики систем радиационного контроля, которые предназначены для своевременного обнаружения таких ситуаций, зачастую не позволяют выполнять возложенную на эти системы задачу. Так, например, то оборудование для оперативного мониторинга радиоактивных выбросов, в основу которого положен принцип измерения мощности дозы обладает недостаточной чувствительностью для того, чтобы регистрировать повышенные по сравнению с нормальной эксплуатацией, но, тем не менее, еще не аварийные выбросы.

Кроме того, система мониторинга загрязнения окружающей среды, основанная на использовании конусов и планшетов для отбора проб, не обеспечивает оперативности обнаружения загрязнения, поскольку на учащенный режим измерений она переходит в режиме чрезвычайной ситуации.

Для того чтобы как можно меньше инцидентов являлись «ситуацией неопределенности» представляется целесообразным совершенствование системы радиационного контроля путем повышения чувствительности систем контроля радиоактивных выбросов и оперативности сбора результатов мониторинга загрязнения окружающей среды.

### **Предлагается**

Провести модернизацию действующей государственной сети радиационного мониторинга, направленную на обеспечение оперативности реагирования на изменения радиационной обстановки и расширению контролируемых параметров, в том числе альфа излучения. Автоматические средства контроля разработаны, сертифицированы, успешно прошли апробацию и в небольшом количестве уже внедрены на сети.

Провести анализ локальных систем наблюдения Госкорпорации «Росатом», на основе которого разработать согласованное с Росгидрометом техническое задание на модернизацию локальных систем наблюдений с учетом специфики объектов и природных условий.

Росгидромету и Госкорпорации «Росатом» организовать совместные работы, по обеспечению согласованного функционирования систем наблюдений, находящихся в их ведении, а также сопоставимости данных наблюдений на территории РФ включая районы расположения объектов использования атомной энергии (санитарно-защитных зон и зон наблюдения).

Рекомендовать Росгидромету и Госкорпорации «Росатом» разработать согласованный порядок подготовки и представления информации о радиационной обстановке на территории РФ при нормальной и нештатных

ситуациях. Для формирования адекватного понимания общественностью представляемых данных о состоянии радиационной обстановки рекомендовать Росгидромету пересмотреть ряд терминов, используемых специалистами в области радиационного мониторинга для управления процессом наблюдения и не связанных с радиационным воздействием на население и объекты окружающей среды.

В связи с большим общественным резонансом информации об обнаружении рутения-106 на территории Российской Федерации необходимо формировать единые для всех ведомств, участвующих в работе государственной системы мониторинга радиационной обстановки, подходы к информированию общественности о результатах мониторинга радиационной обстановки.

Для дальнейшей проверки версии о поступлении рутения-106 от наземного источника Ростехнадзору, ФМБА России и Госкорпорации «Росатом» провести анализ применяемых технологических процессов переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ), высокотемпературных процессов переработки ОЯТ и радиоактивных отходов (РАО), очистки газообразных продуктов переработки ОЯТ и РАО, радиационного контроля выбрасываемых газов. Представить анализ дефицитов безопасности, которые могут привести к выбросам рутения-106 в количествах, превышающих установленные значения предельно допустимых выбросов.

С целью оперативного выявления причин и идентификации источников техногенных аварий и природных катастроф, сопровождающихся аэрозольными выбросами и изменениями термического режима атмосферы, рассмотреть возможность обеспечения регулярной работы сети лидарного зондирования Росгидромета.

С целью повышения пространственно-временного разрешения сети лидарного зондирования термического режима верхней тропосферы - нижней стратосферы, измерения содержания аэрозоля, озона целесообразно развернуть на территории РФ не менее 10 лидарных станций АК-3.

Необходимо принять неотложные меры по развитию и модернизации государственной системы мониторинга радиационной обстановки на территории РФ, включая СРМ Росгидромета и локальные системы мониторинга в районах расположения радиационно опасных объектов. Предусмотреть приоритетное развитие систем мониторинга радиационной обстановки в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года».

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 IAEA – International Atomic Energy Agency. Status of Measurements of Ru-106 in Europe. IAEA, Vienna, 2017. – 5 p.

2 IAEA – International Atomic Energy Agency. Updated Technical Attachment Status of Measurements of Ru-106 in Europe. IAEA, Vienna, 2017. – 19 p.

3 IAEA – International Atomic Energy Agency. Environmental and Source Monitoring for Purposes of Radiation Protection. Safety guide N.RS-G-1.8, 2005. IAEA, Vienna – 136 p.

4 IAEA – International Atomic Energy Agency. Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring. Safety Reports series N.64, 2010. IAEA, Vienna. – 232 p.

5 РД 52.18.826-2015 «Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 12. Наблюдения за радиоактивным загрязнением компонентов природной среды». – ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск, 2015. – 96 с.

6 Горчаков Д. Рутений на Урале: миф или катастрофа. 23.11.2017. – 3 с. — <https://newtimes.ru/articles/detail/129960/>

7 Арутюнян Р.В. и др. Трансграничный перенос при малых выбросах радиоактивных веществ в атмосферу. Атомная энергия, том 117, № 2, 2014, 109-112.



8 Toivonen, H., Klemola, S., Lahtinen, J. et al. Radioactive Release from Sosnovy Bor, St.Petersburg, in March 1992. Helsinki, 1992. STUK-A104.

9 Блинова Л.Д. и др. Комплексный радиационно-экологический мониторинг в районе Ленинградской АЭС в 1992 г. Научный информационно-методический бюллетень. М.: Ядерное общество России, 1993, № 3/83, 10-22.

10 Блинова Л.Д. Радиоэкологический мониторинг атмосферы и гидросферы в районе расположения объектов ядерного комплекса (на примере города Сосновый Бор). Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Сосновый Бор, 1998. – 126 с.

11 О возможном сценарии загрязнения атмосферы рутением-106. ФГУП «ПО «Маяк», 2017. – 3 с.

**Приложение А. Результаты автомобильной маршрутной съемки на территории Челябинской области в районе ФГБУ «ПО «Маяк» 17 декабря 2017 года**

Маршрут съемки:

Кыштым - Новогорный - Худайбердинский - Калиновский - Худайбердинский - Аргояш - Норкино - Долгодеревенское - Метлино - Озерск - Касли - Кыштым.

Автомобильная гамма-спектрометрическая съемка выполнялась измерительным комплексом МР-43 в составе:

- многоканального спектрометра гамма-излучения DigiDART с ОЧГ-детектором GEM-20;

- блока детектирования БДКГ-04.

Диапазон измерения энергетического спектра 50-3000 кЭВ.

Энергетическая шкала спектрометра установлена на 16384.

Энергетическое разрешение детектора по линии 1302,502 (Co-60) – 1,76 кЭВ.

Маршрутная съемка выполнялась в автоматическом режиме с секундной регистрацией МАЭД и 300 секундной экспозицией спектра при скорости движения автомобиля 50-60 км/час.

Во время съемки набор спектра по участкам осреднения контролировался визуально в дополнительно открытом окне ПО «MAESTRO». Всего по маршруту отснято 60 спектров.

По маршруту съемки МАЭД в основном составляло от 0,07 до 0,12 мкЗв/ч, на отдельных участках переходила в диапазон 0,13-0,20 мкЗв/ч и только при пересечении реки Теча МАЭД превысило отметку в 1 мкЗв/ч, что отражено в цвете на прилагаемой дозовой карте.

На спектрах из техногенных радионуклидов регистрировался только Cs-137.

На отдельных участках по линии 512-513 кэВ (энергия Ru-106 или Rh-106) появлялись слабые фотопики, чуть превышающие предел чувствительности, но при остановке и съезде с трассы на грунт оставался только фотопик энергии 511 кэВ (Th-232), по-видимому, эффект дорожного покрытия.

Схема маршрута съемки и результаты измерений представлены на рис. А.1-А.5.

По результатам обследования по маршруту съемки вокруг ФГБУ «ПО «Маяк» рутений-106 не выявлен.

На 18.12.2017 запланирован выезд на выбранные точки для отбора проб почвы с измерением спектров по пути движения и в местах отбора в режиме точечных измерений с увеличением времени экспозиции.

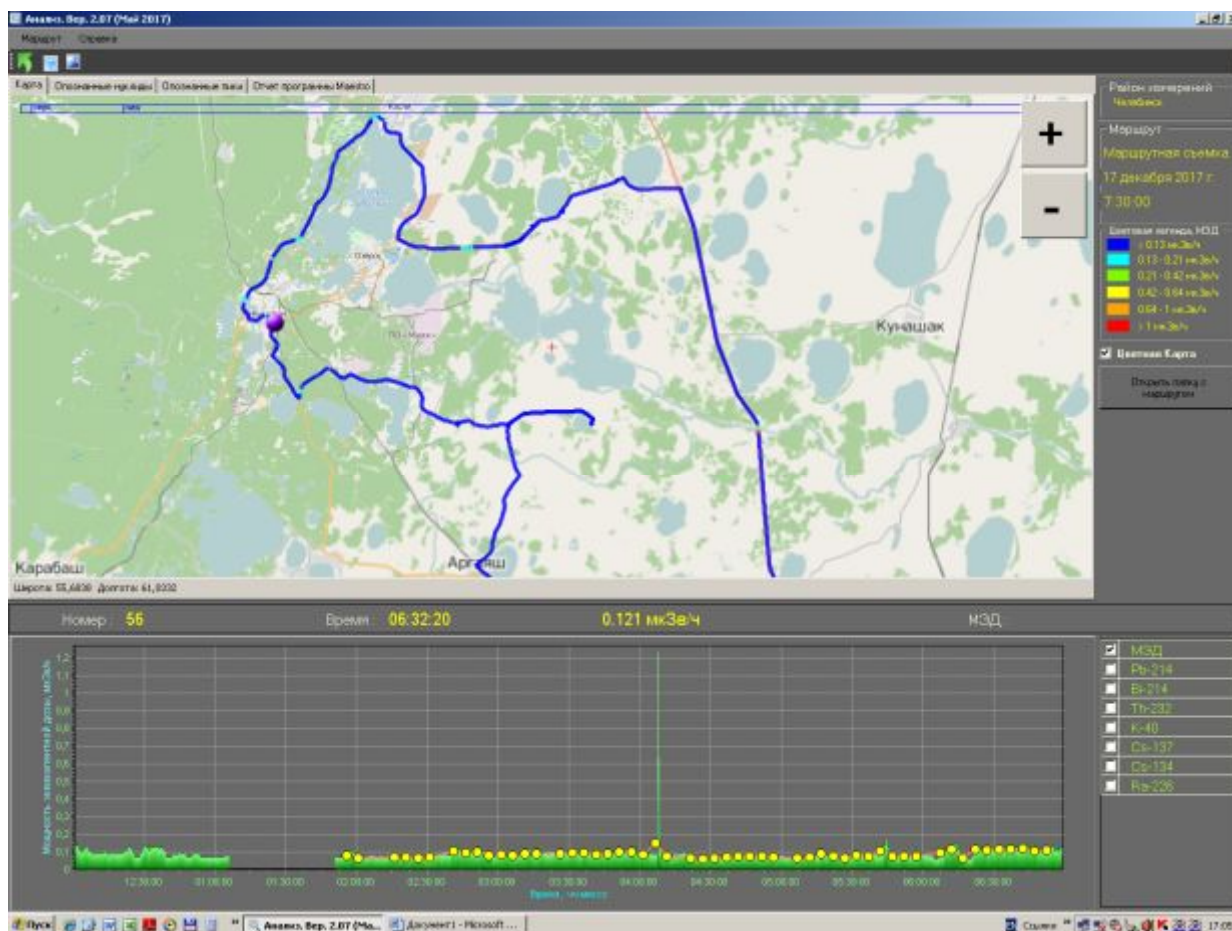


Рисунок А.1 – Схема маршрута съемки на территории Челябинской области вокруг ФГБУ «ПО «Маяк» с дозовыми значениями в цветовой гамме

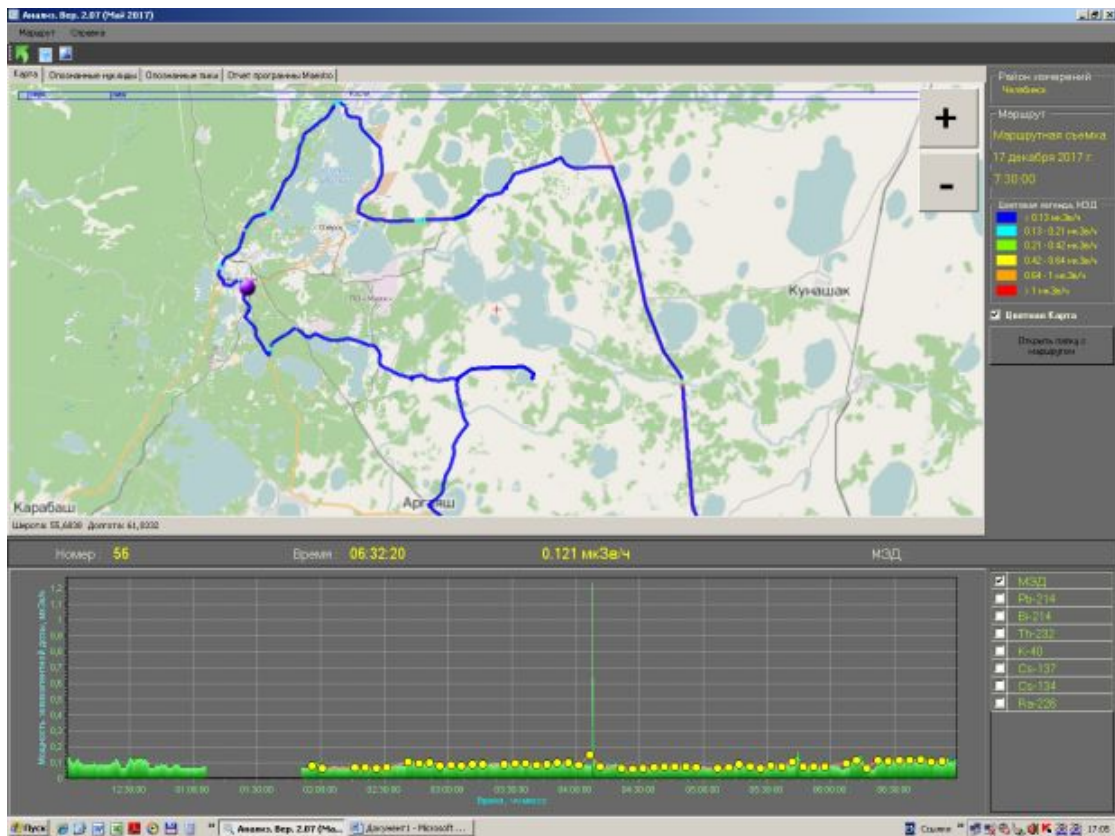


Рисунок А.2 – Верхняя часть схемы маршрута съемки с дозовыми значениями в цветовой гамме

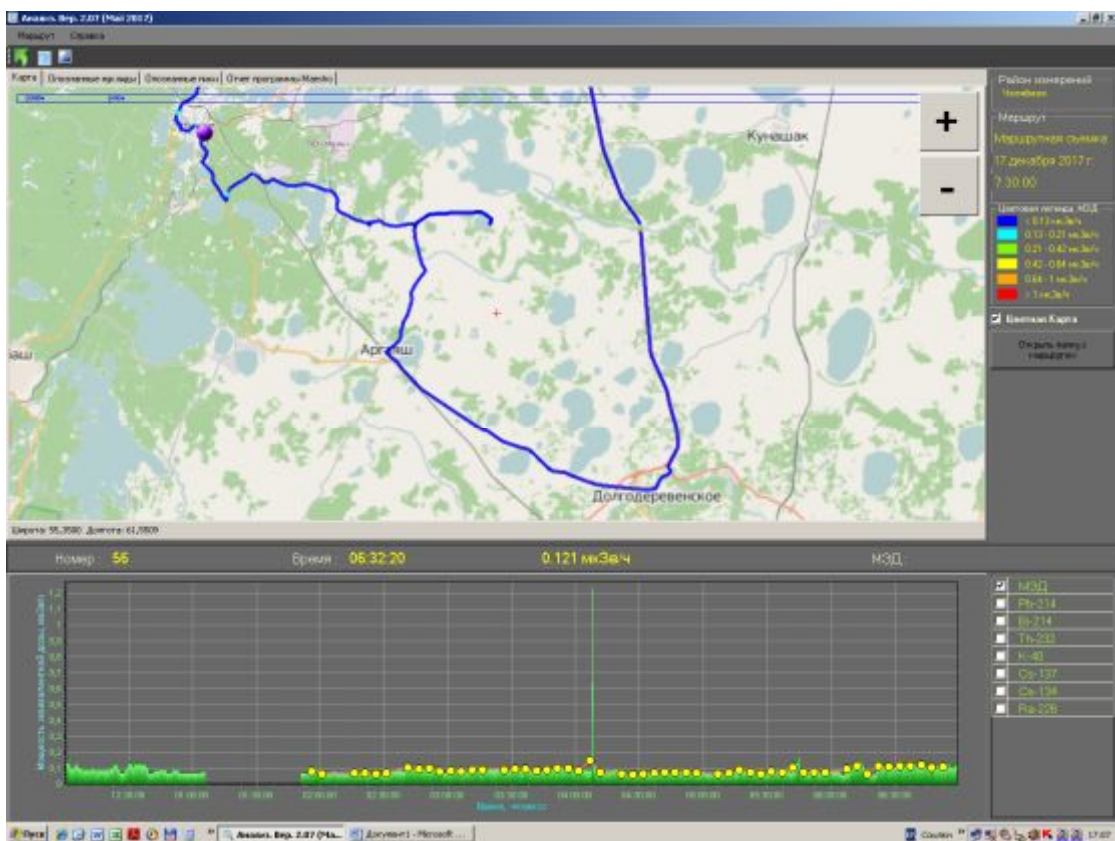


Рисунок А.3 – Нижняя часть схемы маршрута съемки с дозовыми значениями в цветовой гамме

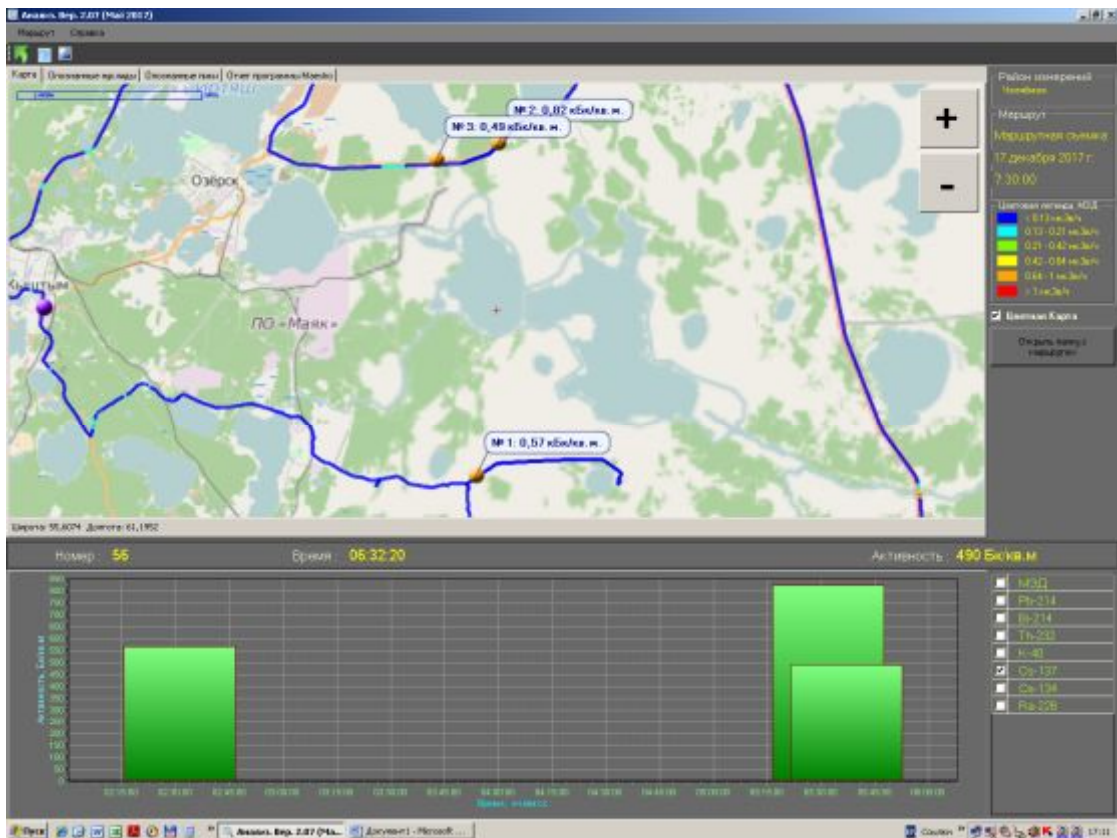


Рисунок А.4 – Фрагмент схемы маршрута съемки со значениями загрязнения Cs-137 на участках съемки

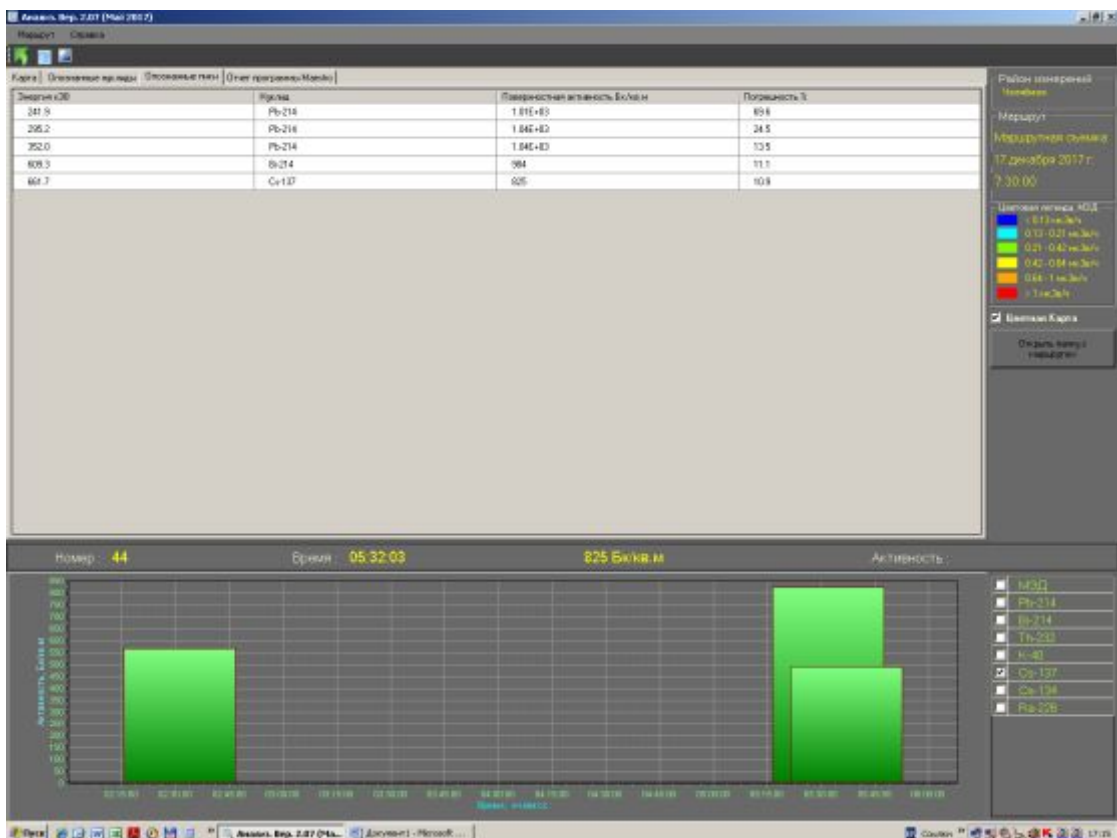


Рисунок А.5 – Таблица с расчетом поверхностной активности одного из участков съемки

## Приложение Б. Результаты моделирования распространения рутения-106 в атмосфере от гипотетического наземного источника, расположенного на Южном или Среднем Урале

На рисунках Б.1-Б.16 приведены диаграммы изменения концентрации Ru-106 в нескольких пунктах по результатам моделирования гипотетического выброса из условных источников, расположенных в Челябинской области в районе г. Озерск (Вариант 1) и в Свердловской области в районе г. Нижний Тагил (Вариант 2).

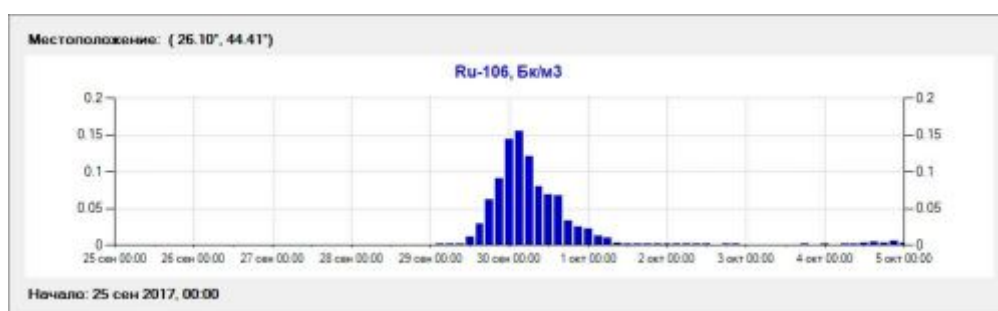


Рисунок Б.1 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Bucuresti, вариант 1)

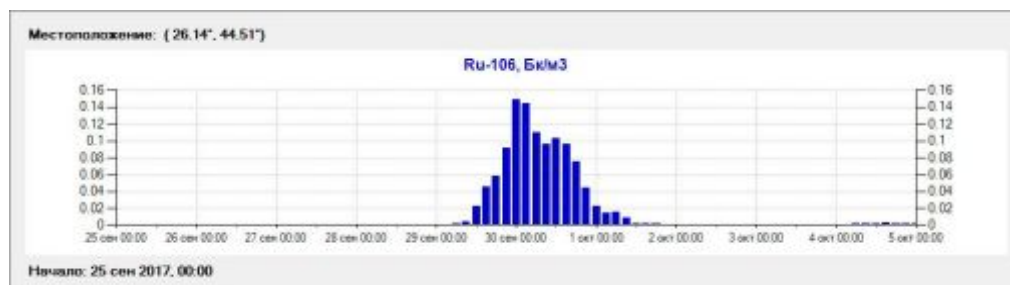


Рисунок Б.2 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Bucuresti, вариант 2)



Рисунок Б.3 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Budapest, вариант 1)

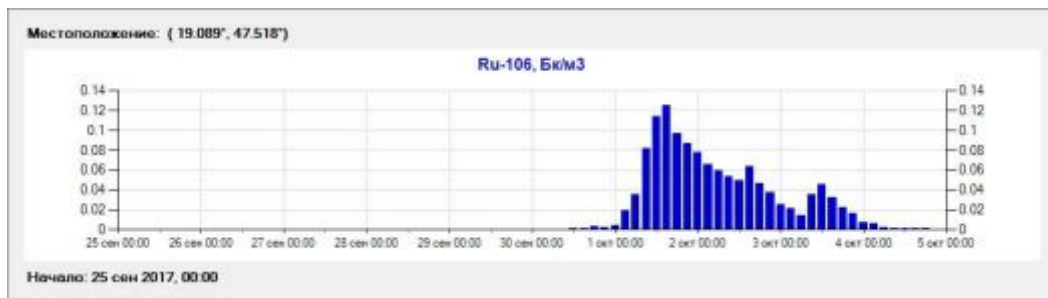


Рисунок Б.4 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Budapest, вариант 2)

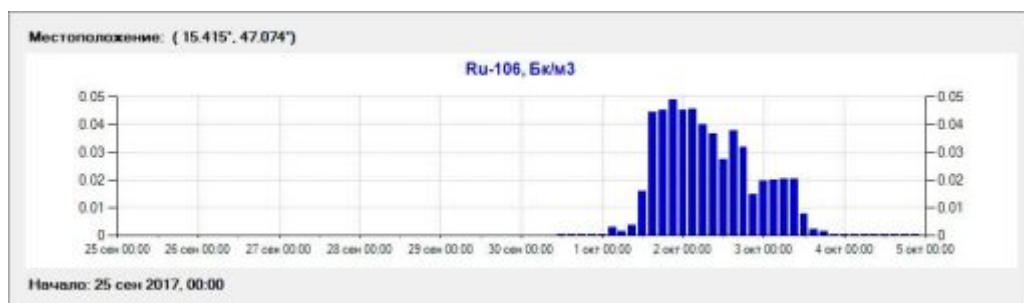


Рисунок Б.5 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Graz, вариант 1)

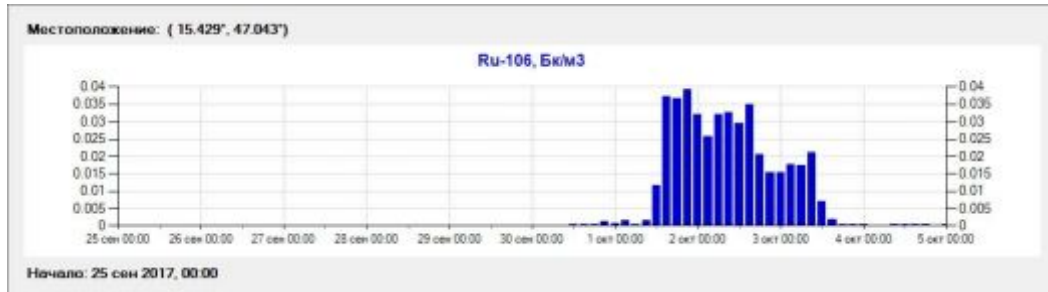


Рисунок Б.6 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Graz, вариант 2)

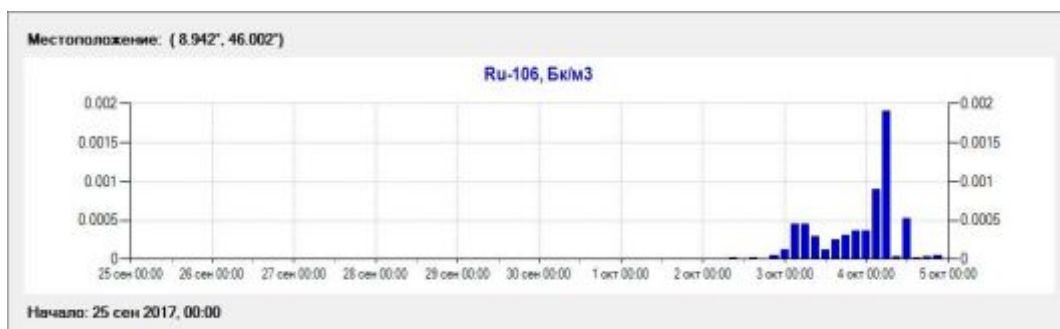


Рисунок Б.7 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Lugano, вариант 1)

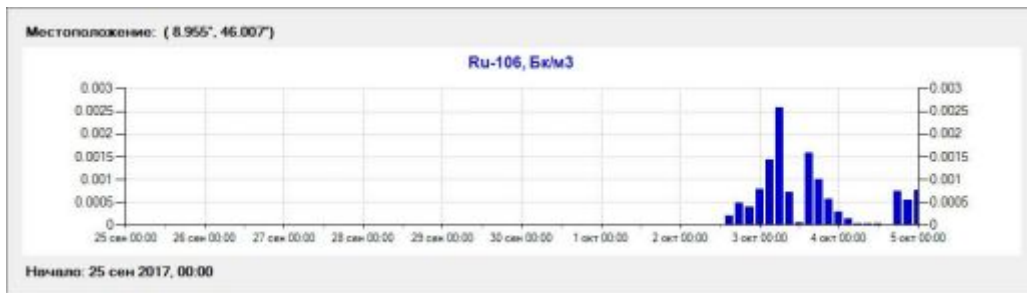


Рисунок Б.8 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Lugano, вариант 2)



Рисунок Б.9 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Ostrava, вариант 1)

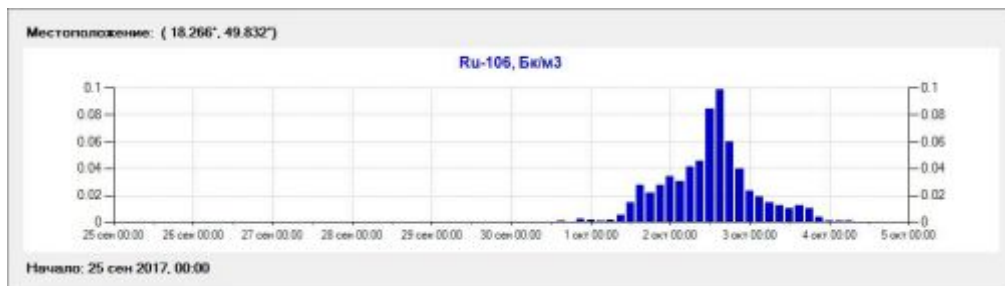


Рисунок Б.10 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Ostrava, вариант 2)

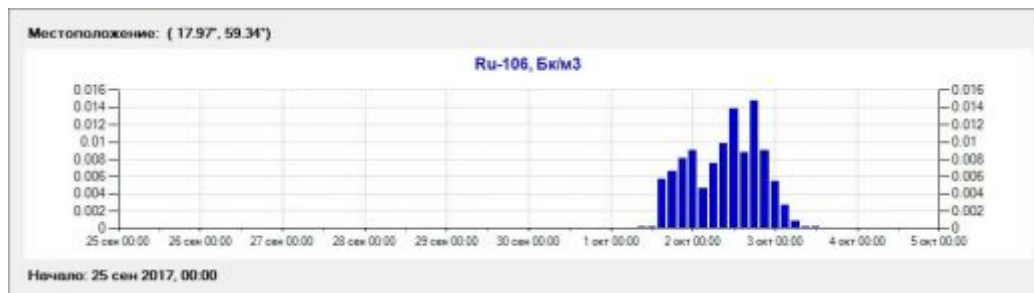


Рисунок Б.11 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Stockholm, вариант 1)



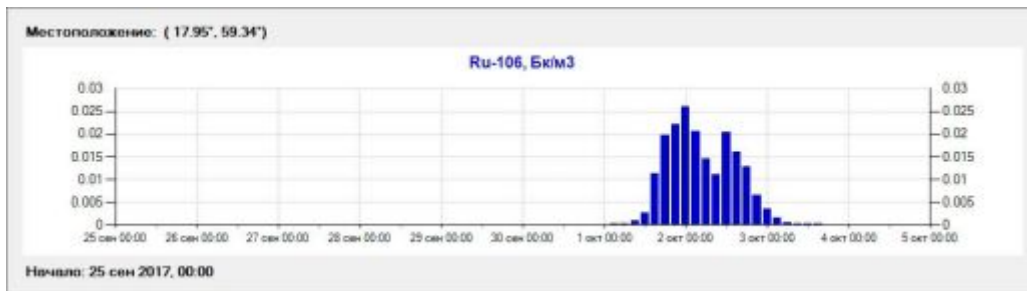


Рисунок Б.12 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Stockholm, вариант 2)

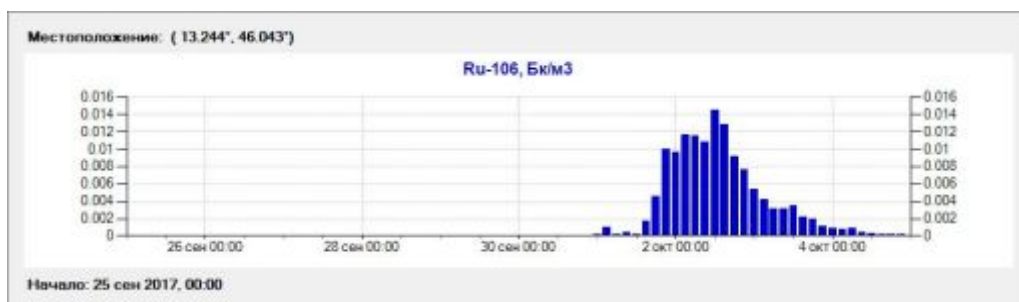


Рисунок Б.13 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Udine, вариант 1)

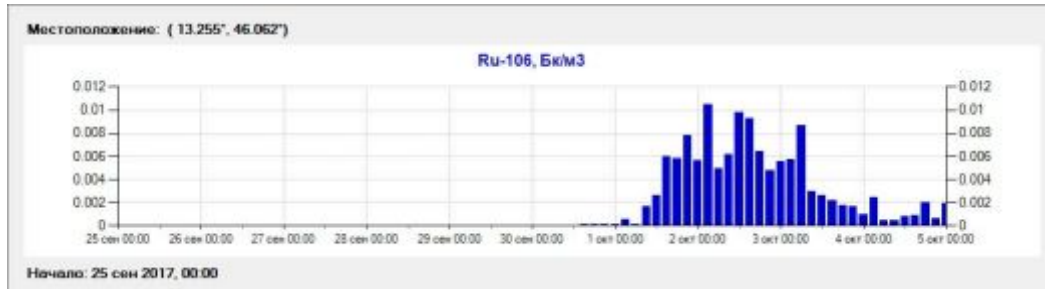


Рисунок Б.14 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Udine, вариант 2)

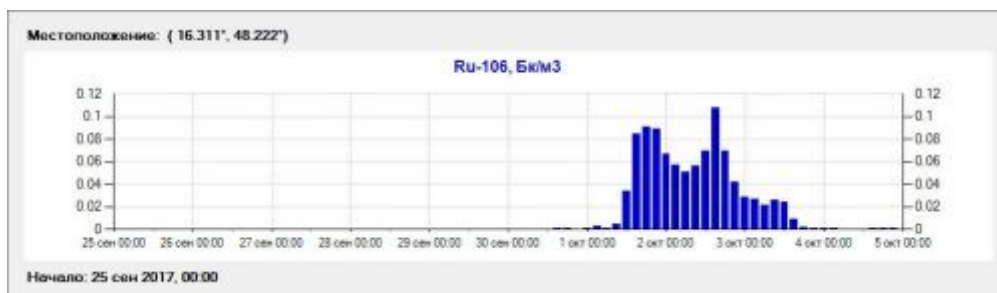


Рисунок Б.15 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Wien, вариант 1)

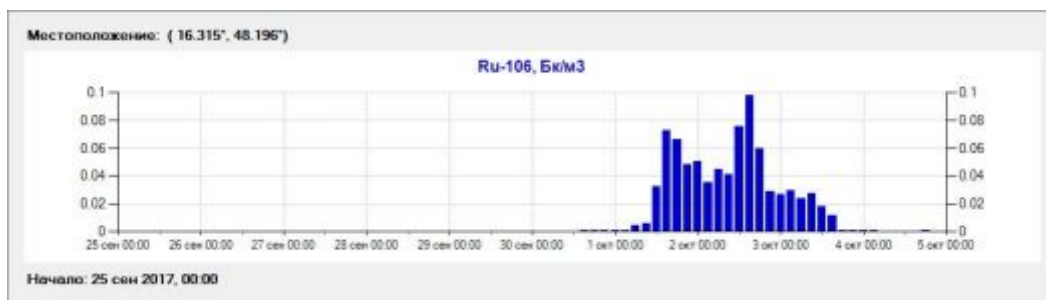


Рисунок Б.16 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Wien, вариант 2)

В таблице Б.1 приведены результаты измерений концентрации Ru-106 в воздухе в нескольких российских пунктах (по данным Росгидромета).

Таблица Б.1 – Результаты измерений концентрации Ru-106 в воздухе (по данным Росгидромета)

Страна	Пункт	Начало	Окончание	Ru-106, мБк/м <sup>3</sup>
Россия	Волгоград	26.09	01.10	13,6
Россия	Цимлянск	26.09	01.10	19,0
Россия	Курск	27.09	28.09	0,12
Россия	Санкт-Петербург	02.10	06.10	0,115
Россия	Мурманск	04.10	05.10	0,137

На рисунках Б.17-Б.21 приведены диаграммы изменения концентрации Ru-106 в пунктах, приведенных в таблице Б.1, по результатам моделирования гипотетического выброса из условного источника, расположенного в Челябинской области в районе г. Озерск.

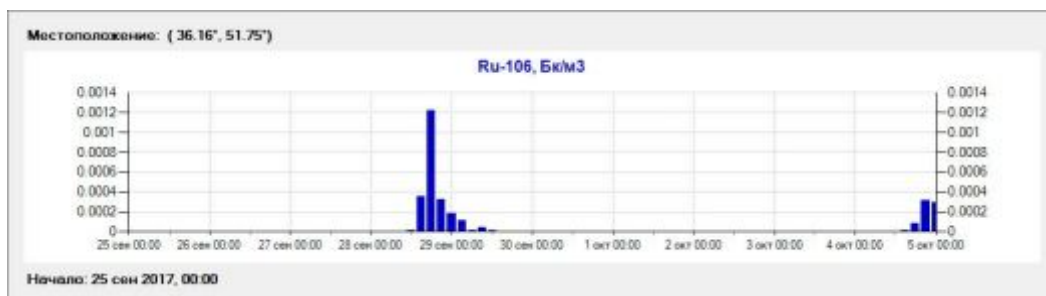


Рисунок Б.17 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Курск)

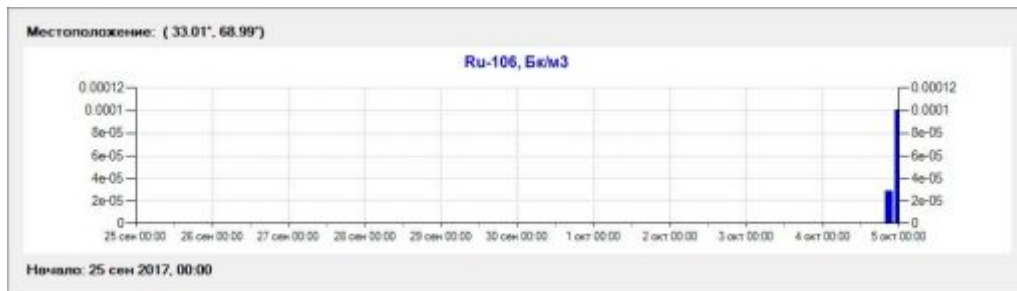


Рисунок Б.18 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Мурманск)

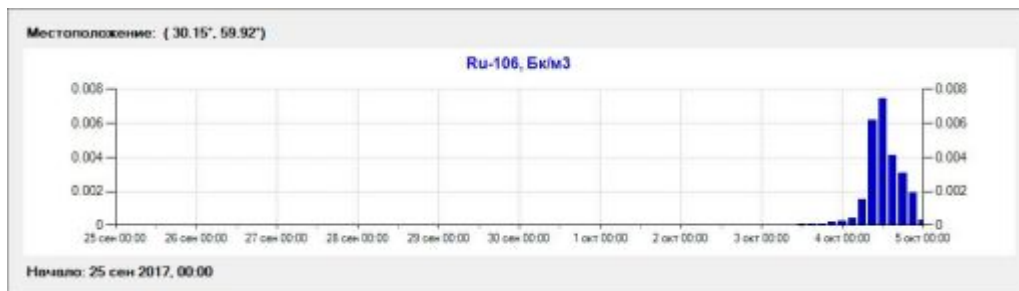


Рисунок Б.19 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Санкт-Петербург)

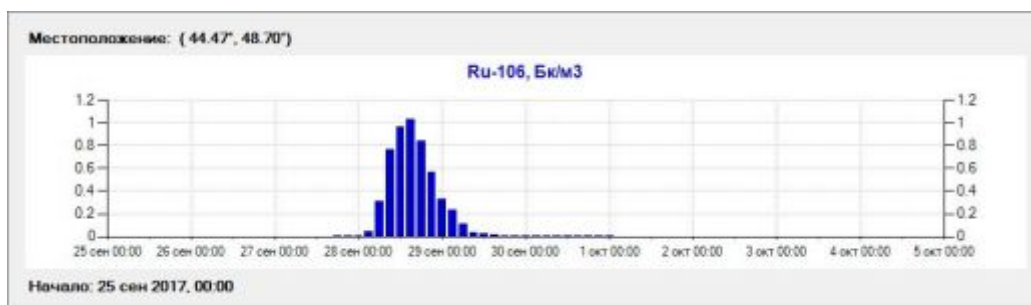


Рисунок Б.20 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Волгоград)

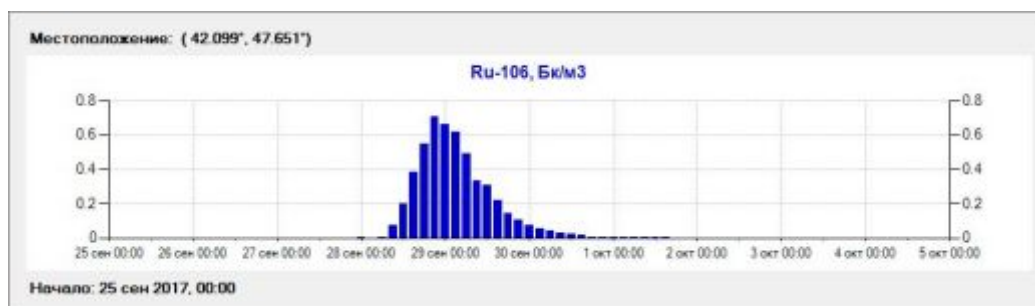


Рисунок Б.21 – Приземная концентрация Ru-106 по результатам моделирования (Цимлянск)

## **Приложение В. Материалы ИБРАЭ РАН по анализу распространения рутения-106 в атмосфере в сентябре-октябре 2017 г.**

Арутюнян Р.В., Киселев А.А., Припачкин Д.А., Рубинштейн К.Г.,  
Игнатов Р.Ю., Арон Д.В. (ИБРАЭ РАН)

### **Введение**

В приземном воздухе во многих Европейских стран и в Российской Федерации в конце сентября и начале октября 2017 г. был обнаружен радионуклид  $^{106}\text{Ru}$ . Измеренные объемные активности  $^{106}\text{Ru}$  были в 100 раз ниже ДОА. Для зон с максимальными измеренными концентрациями  $^{106}\text{Ru}$  ингаляционные дозы составляют от 10 до 100 нЗв. Однако сам факт обнаружения  $^{106}\text{Ru}$  вызвал широкий общественный резонанс.

В ИБРАЭ РАН было проведен расчетный анализ, целью которого являлось получение объективной картины возможного масштабного распространения  $^{106}\text{Ru}$  в атмосфере с учетом движения воздушных масс в приземном слое атмосферы в период с 24 сентября по 4 октября 2017 г. включительно.

В ходе проведенной работы решались задачи оценки параметров гипотетического приземного источника выброса  $^{106}\text{Ru}$  в атмосферу, пространственной локализации с учетом расчетных пространственных полей глобальной и локальной метеорологической обстановки, и параметров радиационной обстановки на территории РФ и Европейских стран.

### **В.1 Оценка пространственной локализации и параметров наземного источника выброса**

Для моделирования перемещения воздушных масс в атмосфере была использована версия метеорологической модели WRF-ARW (версия 3.9.1) с пространственным разрешением по горизонтали  $18 \times 18$  км и по вертикали 39 уровнями до высот 4000 метров для территории от Западной Сибири до

Великобритании (с востока на запад) и от Баренцева до Средиземного моря (с севера на юг). Моделировали метеорологические параметры (поля ветра, температуры, давлений и осадков) в период с 00:00 (UTC) 24 сентября по 00:00 (UTC) 4 октября 2017 г. с разрешением по времени 3 часа.

С учетом данных публикаций (IRSN, Франция) [1] и (BfS, Германия) [2] по определению возможного положения источника выброса  $^{106}\text{Ru}$  в атмосферу в ИБРАЭ РАН провели собственные расчеты с применением аналогичных подходов с учетом параметров моделирования, используемых зарубежными коллегами. Расчеты показывают, что с учетом данных измерений в Европе, представленными МАГАТЭ [3], и на территории РФ, полученными от ФГБУ «НПО «Тайфун» (Росгидромет) [4], и, принимая во внимание неопределенности по исходным данным характеристик выброса, сделанные европейскими специалистами, выводы по вероятному расположению источника выброса между Поволжьем и Уральским регионом в случае принятия гипотезы о приземном выбросе соответствуют результатам моделирования.

Для оценки пространственной локализации источника выброса моделировался атмосферный перенос от мгновенного источника выброса, расположенного на высоте 100 м. Источник устанавливался в узлах расчетной сетки в области от 1 до 69 градусов ВД и от 27 до 66 градусов СШ. Было проведено 100000 расчетов. Оценка возможных положений гипотетического приземного выброса строилась с использованием коэффициента корреляции Пирсона с уровнем доверия 95%, дополнительно были введены ограничения: на значения нормированного коэффициента качества моделирования BIAS с учетом диапазона активности источника от  $10^{-2}$  Ки до  $10^4$  Ки, совместная вероятность обнаружения ненулевой концентрации  $^{106}\text{Ru}$  в населенных пунктах Аргаяш и Новогорный, а также в точках измерения в Европе. Варианты длительного выброса и выбросов, распределенных по нескольким различным высотам, не рассматривались.

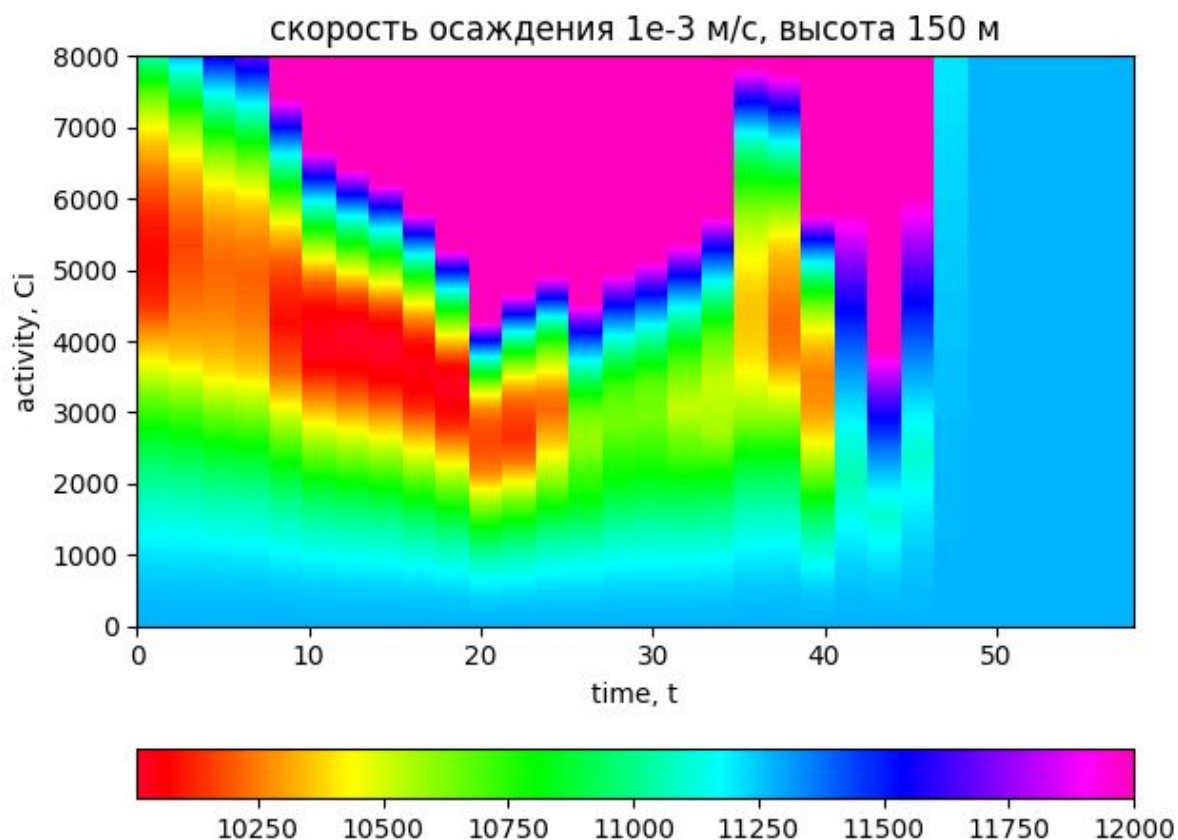
Расчетный анализ показал, что в случае рассмотрения гипотезы приземного выброса источник может быть локализован в области от 53 до 66 градусов СШ и от 55 до 67 градусов ВД.

Для оценки параметров источника выброса было выполнено около 260 прямых расчетов в предположении, что источник выброса мгновенный и локализован в области от 53 до 66 градусов СШ и от 55 до 67 градусов ВД,  $^{106}\text{Ru}$  полностью в аэрозольной форме.

Рассматривались 4 скорости осаждения аэрозолей, соответствующие различным гипотезам по дисперсному составу: 0,01 см/с – средняя скорость осаждения атмосферного аэрозоля; 0,1 см/с – средняя скорость осаждения нефилтрованного аэрозольного выброса (АМАД 1 мкм, рекомендации DoE [5]); 0,2 см/с – скорость осаждения, использованная IRSN для моделирования распространения  $^{106}\text{Ru}$  [1]; 0,8 см/с – скорость осаждения, рекомендованная в ряде российских документов [6]. В данном разделе рассматривается трансграничный перенос, поэтому гипотезы о возможных скоростях осаждения в ближней зоне не рассматриваются. Пространственное разрешение в расчетах составляло  $\sim 10 \times 10$  км, разрешение метеорологических данных  $\sim 18 \times 18$  км. Для расчетов невязки использовались два типа выборки по точкам измерений: полная выборка и оптимизированная, в которую вошли точки измерения со временем экспозиции фильтра (время прокачки воздуха через фильтр) не более 96 часов и данные измерений на Балаковской АЭС и Ростовской АЭС. Данные по измерениям концентраций в ближней зоне от гипотетического источника не учитывались. Варьировали время начала выброса от 00:00 25.09.2017 г. до 00:00 30.09.2017 г. с шагом 2 часа, высоту выброса: 40 м, 100 м, 150 м, 200 м, 300 м, 400 м, 500 м и активность источника выброса - от 1 Ки до 8000 Ки с шагом 1 Ки.

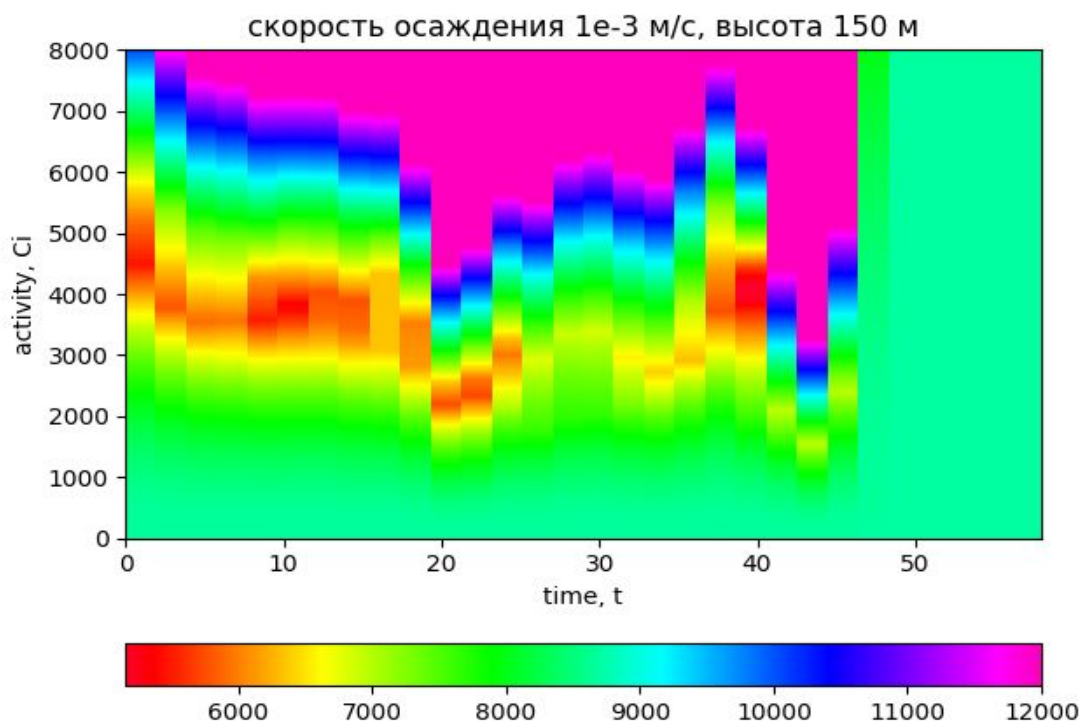
На рисунках В.1 и В.2 представлены картограммы невязки результатов измерений и расчетов, полученных с помощью прямого моделирования. Красным выделены области, в которых наблюдаются наименьшие значения

невязки, соответствующие наилучшему согласию с результатами измерений. Эти области с минимальными значениями невязки характеризуют диапазон наиболее вероятных параметров гипотетического приземного источника выброса.



по вертикали – активность выброса, по горизонтали - время

Рисунок В.1 – Невязка при скорости осаждения  $0,1$  см/с и высоты выброса 150 м по полному набору измерений (за время точки отсчета принято 00:00 25.09.2017 г. UTC)



по вертикали – активность выброса, по горизонтали – время

Рисунок В.2 – Невязка при скорости осаждения  $0,1$  см/с и высоты выброса  $150$  м по оптимизированному набору измерений (за время точки отсчета принято  $00:00$   $25.09.2017$  г. UTC)

Сопоставление результатов моделирования атмосферного переноса аэрозолей, содержащих радионуклид  $^{106}\text{Ru}$ , с помощью совместного использования транспортной Лагранжевой модели и метеорологической модели WRF-ARW, с данными измерений объемной активности и выпадений, представленными (НПО «Тайфун», Росгидромет) [4] и МАГАТЭ [3] позволяет оценить следующие параметры источника выброса:

- по времени выброса – анализ метеоданных, измерения объемной активности и выпадений показывают, что выброс в атмосферу  $^{106}\text{Ru}$  мог происходить в период с 25 по 27 сентября 2017 г. Результаты моделирования показывают, что до 25 сентября перенос воздушных масс осуществлялся в западном направлении. Если бы выброс произошел после 27 сентября, тогда перенос воздушных масс осуществлялся бы на юг;



- по активности источника выброса – при активности выброса более  $10^4$  Ки расчетные значения выпадений и объемной активности в точках мониторинга в 3-4 раз превышают данные измерений на территории РФ. При активности выброса менее  $10^3$  Ки расчетные значения выпадений и объемной активности в точках мониторинга в 2 раз занижают данные измерений на территории РФ. Очевидно, что активность гипотетического приземного источника выброса не менее  $10^3$  и не более  $10^4$  Ки;

- по физико-химической форме и скорости сухого осаждения – аэрозольная форма  $^{106}\text{Ru}$  формируется на основе природного аэрозоля, например, за счет конденсации паров химических соединений на аэрозольных частицах в атмосфере. Серия расчетов с варьированием скорости сухого осаждения аэрозолей показала, что при скорости менее 0,1 см/с расчетные суточные выпадения меньше, а объемной концентрации больше измеренных во всех точках мониторинга. На территории Европейских стран, при скорости 0,4 см/с, расчетные суточные выпадения и объемная концентрация меньше измеренных значений. Это показывает, что скорость сухого осаждения для аэрозолей, вовлеченных в трансграничный перенос находится в диапазоне от 0,1 до 0,4 см/с. Этот диапазон характерен для осаждения частиц аккумуляционной моды природного аэрозоля в атмосфере.

Таким образом, активность гипотетического приземного источника выброса может составлять от  $10^3$  до  $10^4$  Ки.

## **В.2 Оценка радиационной обстановки по результатам моделирования и данным измерений**

В качестве примера сопоставления результатов моделирования и данных измерений в таблице В.1 приведены расчетные и измеренные значения объемных активностей ( $\text{мБк}/\text{м}^3$ ) и выпадений ( $\text{Бк}/\text{м}^2$ ) в точках мониторинга представленные в отчетных материалах [3, 4]. Кроме того, представлены данные по времени прохождения облака по результатам

моделирования и данным наблюдений. Моделирование выполнено для следующих параметров источника выброса:

- активность – 3000 Ки;
- длительность – 24 часа;
- начало выброса – 15:00 (UTC) 25 сентября 2017;
- высота выброса 30% – 100 метров и 70 % – 500 метров;
- скорость осаждения – 0,2 см/с.

Таблица В.1 – Сопоставление результатов моделирования трансграничного переноса с данными мониторинга  $^{106}\text{Ru}$

Название точки	Даты прохождения облака		Объемная активность, мБк/м <sup>3</sup>		Выпадения, Бк/м <sup>2</sup>	
	Моделирование	Наблюдения	Расчетная	Измеренная (нормированная)	Расчет	Измерения
УФА	27.09	26.09-27.09	180	-	21	17
Бугульма	27.09	26.09-28.09	1836	-	180	10
Запорожская АЭС (Украина)	29.09-03.10	28.09-30.09	42.9	27	4.2	-
Констанца (Румыния)	29.09-01.10	29.09-30.09	27	66	3	-
Черновода (Румыния)	29.09-01.10	29.09-30.09	19.8	69	6	-
Белград (Сербия)	30.09-02.10	01.10-02.10	14.4	21	9	-
Будапешт (Венгрия)	01.10-02.10	25.09-02.10	14.7	12.4	6	-
Варшава (Польша)	30.09-02.10	25.09-02.10	12.6	4.0	11.4	-
Стокгольм (Швеция)	01.10-02.10	30.09-02.09	3.3	12	1.08	-
Хельсинки (Финляндия)	02.10-03.10	03.10-04.10	2.4	0.9	0.3	-

Используя данные об измерениях объемной активности и выпадений, были получены оценки эффективной дозы облучения при ингаляции для

населения на территории РФ и в Европейских странах. В таблице В.2 представлена консервативная оценка ингаляционной дозы облучения в предположении постоянного пребывания человека в области с измеренными значениями концентрации  $^{106}\text{Ru}$  для пунктов наблюдений, расположенных на территории от Урала до восточной Европы и Скандинавии.

Максимальные ожидаемые эффективные дозы облучения на 4 порядка ниже предела дозы для населения при техногенном облучении (по НРБ-99/2009, 5 мЗв в год).

Таблица В.2 – Ожидаемые дозы облучения

Название точки	Эффективная доза от ингаляционного поступления, мкЗв
Запорожская АЭС (Украина)	0,1
Будапешт (Венгрия)	0,1
Стокгольм (Швеция)	5,0E-3
Хельсинки (Финляндия)	8,0E-4
АЭС Козлодуй (Болгария)	0,62

Для проведения оценки параметров возможной радиационной обстановки в ближней зоне рассматривался гипотетический мгновенный выброс 2000 Ки  $^{106}\text{Ru}$  с высоты 100 м. Моделировался нейтральный метеорологический сценарий: класс D, как наиболее часто встречающийся класс стабильности [7], скорость ветра – 5 м/с. В силу того, что положение источника выброса и сценарий выброса не известны, для моделирования параметров радиационной обстановки в ближней зоне рассматривались три типичных скорости сухого осаждения: 0,1 см/с – средняя скорость осаждения аэрозолей, рекомендованная для проведения анализа безопасности [5], 0,8 см/с – скорость осаждения, рекомендованная российскими руководящими документами [6] и средняя скорость осаждения, полученная на основе данных работы по исследованию атмосферного переноса  $^{106}\text{Ru}$ , образовавшегося в результате аварии на заводе по переработке отработавшего топлива COGEMA La Hague [8] в 2001 г.

Для данных исходных условий получено, что расположенные в области условного радиоактивного следа датчики АСКРО должны зафиксировать повышенные, по сравнению с фоновыми, значения мощности дозы (на рисунке В.3 представлен график зависимости максимальных значений мощности дозы по оси радиоактивного следа на различных расстояниях от источника). В ближней зоне зависимость мощности дозы от скорости сухого осаждения практически отсутствует. При этом расчетные значения плотности поверхностных выпадений и, соответственно, ожидаемой годовой эффективной дозы отличаются существенно. Расчетные значения плотности поверхностных выпадений (рисунок В.4) на оси следа для рассмотренного сценария превышают МДА. Следует отметить, что скорости сухого осаждения могут существенно отличаться в зависимости от сценария выброса, метеорологической обстановки, локализации источника выброса и физико-химической формы  $^{106}\text{Ru}$ . Поэтому в силу того, что детальная информация по характеристикам источника выброса не известна, гипотезы по скоростям осаждения, могут рассматриваться как неопределенности моделирования параметров радиационной обстановки.

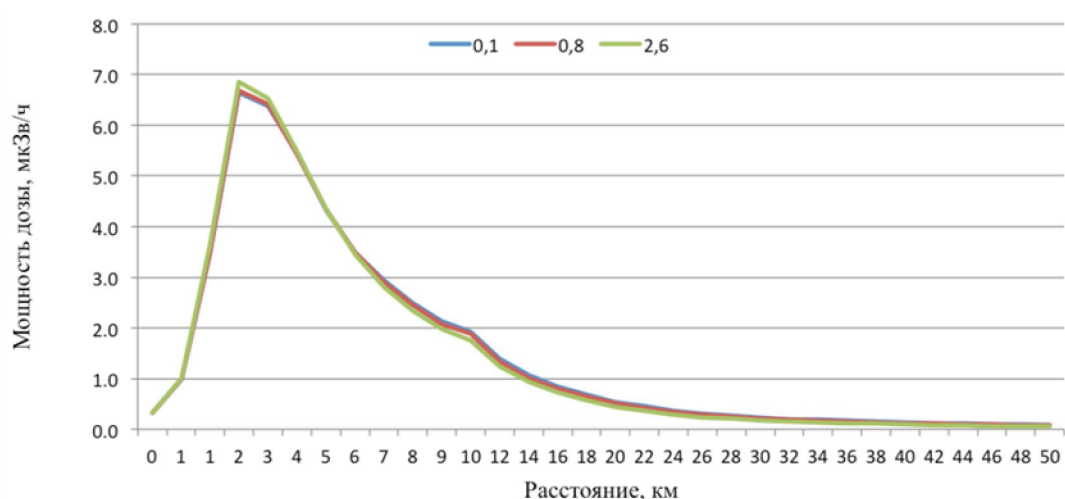


Рисунок В.3 – Расчетные значения максимальных значений мощности дозы по оси следа от гипотетического выброса 2000 Ки для класса устойчивости D, скорости ветра 5 м/с для скоростей сухого осаждения 0,1, 0,8, и 2,6 см/с

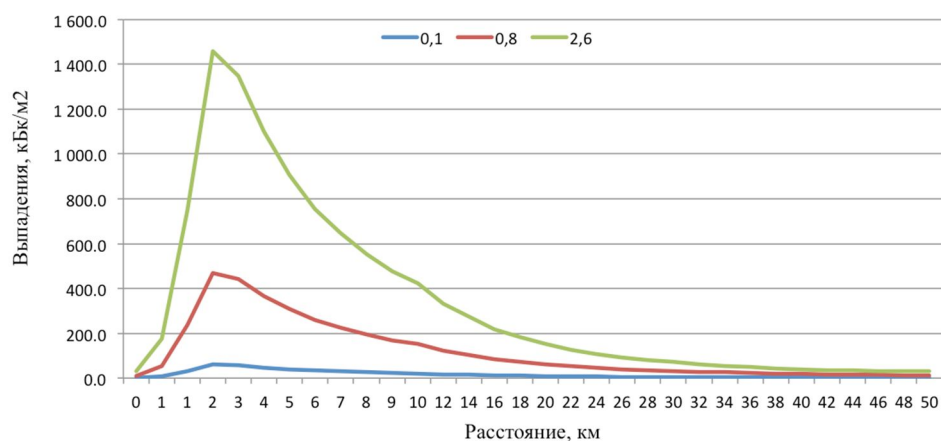


Рисунок В.4 – Расчетные значения плотности поверхностных выпадений  $^{106}\text{Ru}$  по оси следа от гипотетического выброса 2000 Ки для класса устойчивости D, скорости ветра 5 м/с для скоростей сухого осаждения 0,1, 0,8, и 2,6 см/с

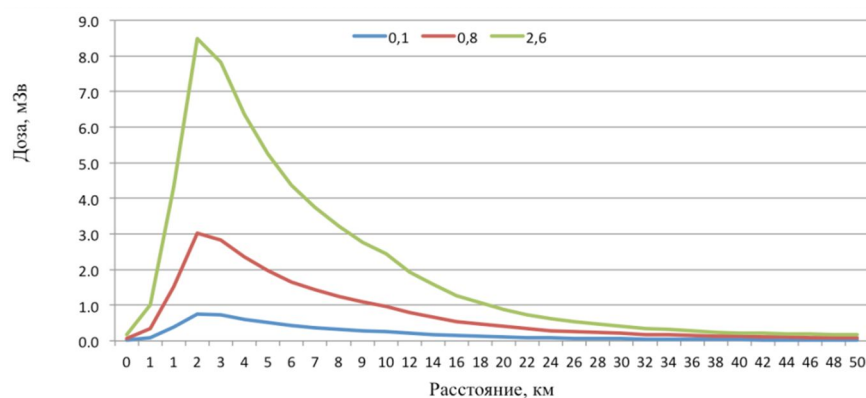


Рисунок В.5 – Расчетные значения полной годовой эффективной дозы по оси следа от гипотетического выброса 2000 Ки для класса устойчивости D и скорости ветра 5 м/с для скоростей сухого осаждения 0,1, 0,8, и 2,6 см/с

### В.3 Анализ гипотетического сценария применительно к ПО «Маяк»

Также был проведен анализ гипотетического сценария применительно к ПО «Маяк». Гипотетический источник выброса привязывался к территории ПО «Маяк». Основываясь на метеорологической информации, было проведено моделирование распространения в период с 24.09.2017 00.00 UTC

по 28.09.2017 22.00 UTC. Рассматривался мгновенный выброс с высот: 40, 100, 150, 200, 300, 400, 500 м.

Анализ полученных результатов показал, что ни один из рассмотренных сценариев до 25.09.2017 г. не позволяет описать данные измерений в ближней зоне: метеорологическая обстановка до 25.09.2017 г. формирует устойчивый перенос воздушных масс в западном направлении, при этом населенные пункты в восточном направлении (в которых зафиксированы концентрации и поверхностные выпадения) оказываются вне зоны прохождения облака. Начиная с 24.09.2017 г. наблюдаются практически штилевые условия с порывами ветра переменного направления, которые могли сформировать поверхностные выпадения, в ближней зоне. Однако все рассмотренные варианты выбросов до 25.09.2017 г. показывают, что в г. Екатеринбурге должны быть зафиксированы ненулевые концентрации, однако по данным наблюдений [4] в г. Екатеринбурге следов рутения не обнаружено. Расчетные значения проинтегрированной по времени концентрации после 26.09.2017 г. также не соответствуют результатам измерений в ближней зоне.

Проведено моделирование сценария в диапазоне времен между 25.09.2017 г. и 26.09.2017 г. Именно в этот промежуток качественная картина загрязнения не противоречит данным наблюдений [4].

Для подтверждения или опровержения выдвинутой гипотезы были проведены натурные измерения в населенных пунктах Слободчикова и Аллаки, расположенных в зоне наблюдения ПО «Маяк». В этих населенных пунктах расчетная плотность поверхностных выпадений в рамках гипотезы выброса с территории ПО «Маяк» составляет более 2000 Бк/м<sup>2</sup>. При этом измеренная плотность выпадений составила не более 5 Бк/кг<sup>1</sup> [9], что не подтверждает гипотезу приземного выброса с территории ПО «Маяк».

---

<sup>1</sup> В измеренных спектрах гамма-линий рутения-106 не обнаружено. Нижний предел измерения активности рутения-106 составляет 3 Бк/пробу

Также была смоделирована динамика мощности дозы на расстояниях 150, 300, 500 и 1000 м от гипотетического источника выброса. Результаты для кратковременного выброса (6 мин) и длительного выброса (1 сутки) представлены на рисунке В.6 и рисунке В.7 соответственно.

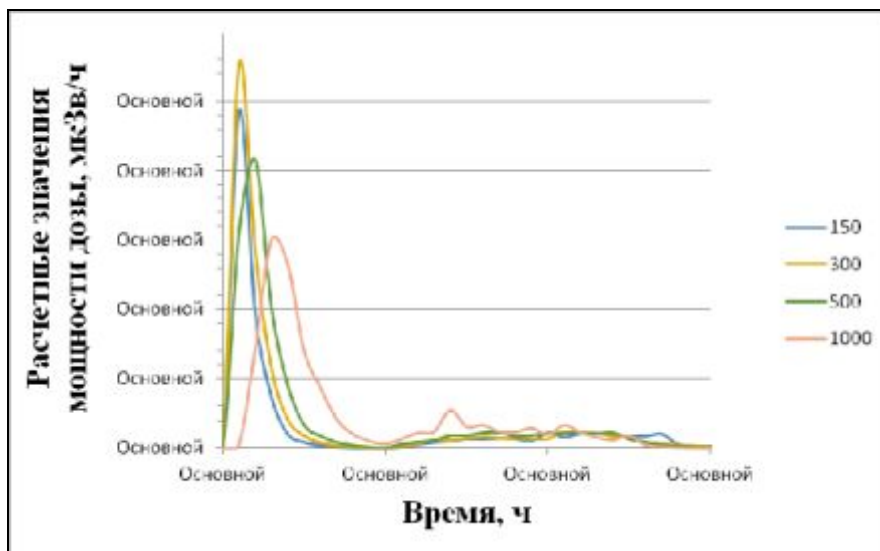


Рисунок В.6 – Расчетные значения мощности дозы гамма-излучения в точках, расположенных на расстояниях 150, 300, 500 и 1000 м от источника гипотетического выброса в гипотезе мгновенного выброса 2000 Ки с высоты 150 м

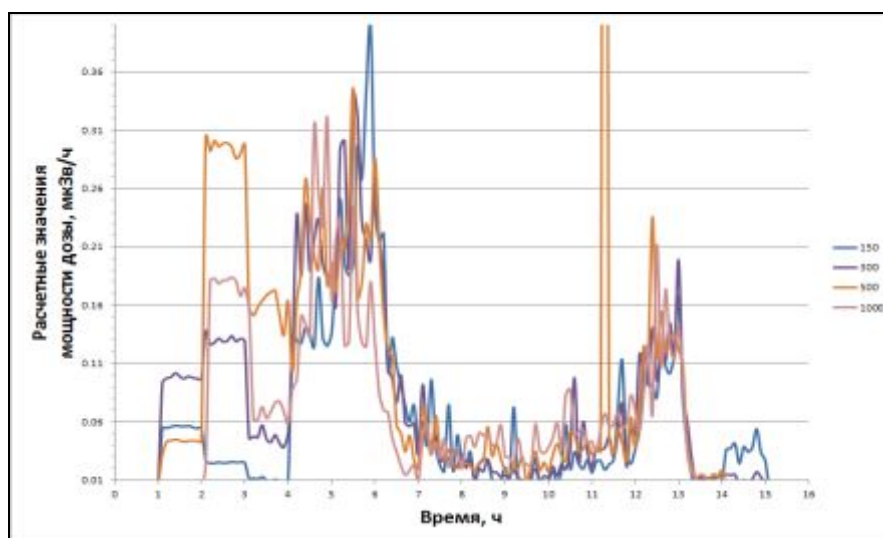


Рисунок В.7 – Расчетные значения мощности дозы гамма-излучения в точках, расположенных на расстояниях 150, 300, 500 и 1000 м от источника гипотетического выброса в гипотезе выброса 2000 Ки длительностью 1 сутки с высоты 150 м

В гипотезе мгновенного выброса расчетные значения мощности дозы превышают средние фоновые значения мощности дозы и должны фиксироваться датчиками АСКРО, расположенными на территории и в зоне наблюдения ПО «Маяк», что опровергается фактическими измерениями с постов АСКРО ФГУП «ПО «Маяк», интегрированных в ОАСКРО [11], за период с 22.09.2017 г. по 01.10.2017 г. В гипотезе длительного выброса расчетные значения мощности дозы сопоставимы (дополнительно) со средними фоновыми значениями мощности дозы и также должны фиксироваться датчиками АСКРО, расположенными на территории и в зоне наблюдения ПО «Маяк», что опровергается фактическими измерениями с постов АСКРО ФГУП «ПО «Маяк», интегрированных в ОАСКРО [11], за период с 22.09.2017 г. по 01.10.2017 г.

Сценарии с приземным выбросом, коррелирующие с данными измерений в Европе и на территории РФ и соответствующие нижнему пределу величины выброса, должны были бы привести к повышенному содержанию  $^{106}\text{Ru}$  в организме работников, что опровергается данными СИЧ работников ПО «Маяк», представленными ФМБА России [10].

### **Заключение**

В результате проведенных в ИБРАЭ РАН исследований, на основе данных комиссии Госкорпорации «Росатом», представленных в межведомственную рабочую группу [12], и фактических измерений, представленных Росгидрометом, МАГАТЭ и ФМБА России:

- не исключается приземный источник выброса  $^{106}\text{Ru}$ . При этом его активность может составлять от  $10^3$  до  $10^4$  Ки;

- ожидаемая эффективная доза за счет ингаляции в точках с максимальными измеренными концентрациями на 4 порядка меньше пределов дозы для населения при техногенном облучении;

- гипотеза о приземном выбросе с территории ПО «Маяк» не подтверждается данными АСКРО [11], данными фактических измерений



(плотность поверхностных выпадений, объемная активность) в ближней зоне предприятия [12] и результатами индивидуального дозиметрического контроля персонала [10];

- рассмотрение возможности поступления  $^{106}\text{Ru}$  из верхних слоев атмосферы требует проведения дополнительного анализа.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Inverse modelling method for Ru-106 source identification, IRSN, October 25, 2017.

2 Идентификация потенциальных регионов источника на основе измерений Ru-106 в воздухе в Европе. Федеральное ведомство по радиационной защите (Bfs), Германия, 27.10.2017.

3 Technical Attachment. Status of Measurements of Ru-106 in Europe. IAEA, 2017

4 Справка Росгидромета, направленная 10 декабря 2017 года В.М. Шершаковым о ранее проведенных работах по выявлению причин и источников появления рутения-106 на территории РФ.

5 G. Sugiyama, A. Gowardhan, M. Simpson, J. Nasstrom Deposition Velocity Methods For DOE Site Safety Analyses LLNL-TR-654366 May 14, 2014.

6 Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. РД 52.18.717-2009. Обнинск, ООО «ПРИНТ-СЕРВИС» - 2009.

7 INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor, EPR-NPP Public Protective Actions, IAEA, Vienna (2013).

8 VALIDATION OF DRY DEPOSITION MODELS FOR SUBMICRONIC AND MICRONIC AEROSOLS Denis Maro , Denis Boulaud , Alexis Coppalle , Pierre Germain , Didier Hebert 1 and Lionel Tenailleau, 9 th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. pp. 89-94.

9 Протокол испытаний (измерений) радиационных характеристик проб №340/17 ЦЛЗ от 01.12.2017.

10 Справка по результатам работы группы специалистов ФМБА России по внеплановой проверке состояния радиационной обстановки в

подразделениях ФГУП «Производственное объединение «Маяк» от 01 декабря 2017 года, подписанная заместителем начальника управления-начальником отдела организации надзора за радиационной безопасностью ФМБА России Н.П. Поцяпун, директором ФГУП ЮУрИБФ С.А. Романовым и начальником отдела специализированного надзора за безопасностью и условиями труда Межрегионального управления №71 ФМБА России Э.Б. Будущевым.

11 Письмо ФГУП «СКЦ» о показаниях постов АСКРО ФГУП «ПО «Маяк» № 1-1.4/51356 от 13.12.2017

12 Материалы комиссии по проверке состояния радиационной обстановки на объектах ФГУП «ПО «Маяк», созданной распоряжением генерального директора Госкорпорации «Росатом» Е.А. Лихачева 27 ноября 2017 года, представленные Госкорпорацией «Росатом» в межведомственную рабочую группу.

**Приложение Г. Анализ стратосферно-тропосферного обмена над  
Европейской территорией России и Уралом в период 23 сентября - 5  
октября 2017 г.**

Н.П. Шакина, И.Н. Кузнецова (ГМЦ)

**Введение**

Вертикальный воздухообмен между стратосферой и тропосферой имеет свои особенности, обусловленные различием свойств этих двух слоев атмосферы.

Тропосфера – самая плотная часть земной атмосферы. Для нее характерны интенсивные вертикальные движения. Она содержит почти весь атмосферный водяной пар, в тропосфере образуются облака и выпадают осадки. Вертикальное распределение температуры характеризуется общим падением ее с высотой.

В стратосфере основную роль в регулировании температурного режима играет озон. Слой атмосферы, богатый озоном, лежит на высотах от 15 до 60 км, с максимумом концентрации озона на высотах 23-30 км. Поглощение молекулами озона ультрафиолетовой радиации Солнца приводит к нагреванию стратосферы и росту температуры с высотой. Кроме озона, в стратосферном воздухе содержатся другие специфические примеси, в том числе отсутствующие в тропосфере и имеющие своим источником космические лучи: заряженные частицы (ионы) и радиоактивные аэрозоли, из которых наиболее известен изотоп бериллия Be-7. Вследствие устойчивой (инверсионной или изотермической) стратификации, вертикальное перемешивание в стратосфере подавляется, о чем говорит и название этого слоя: «слоистая сфера».

Переходным слоем между тропосферой и стратосферой является тропопауза. Границы этого слоя часто неразличимы, поэтому тропопаузой называют обычно не переходный слой, а верхнюю границу тропосферы. Согласно критерию ВМО, этой границей считается уровень, на котором

вертикальный градиент температуры убывает до  $0,2\text{ }^{\circ}/100\text{ м}$  или ниже и остается столь же низким в вышележащем слое толщиной 2 км. (Тропопауза, определяемая по указанному критерию ВМО, называется термической тропопаузой).

Тропопауза с ее очень устойчивой температурной стратификацией является задерживающим слоем по отношению к тропосферному перемешиванию. В слое тропопаузы обычно скапливаются аэрозоли, приносимые из нижележащих слоев тропосферы.

### **Г.1 Механизмы стратосферно-тропосферного обмена**

Как следует из сказанного в п. 1, турбулентный обмен между тропосферой и стратосферой очень слаб (и обычно пренебрежимо мал) вследствие очень высокой устойчивости стратификации в слое тропопаузы и в стратосфере. Стратосферно-тропосферный обмен реализуется не через механизм турбулентности, а через более крупномасштабные механизмы: а) глубокой конвекции и б) фронтогенеза в высотных фронтальных зонах.

При глубокой конвекции, когда вершины кучево-дождевых облаков пробивают тропопаузу и внедряются в стратосферу, в нисходящих ветвях облачных вертикальных циркуляций воздух из стратосферы опускается в нижние слои, иногда до земли, и приносит с собой типично стратосферные примеси, прежде всего, озон. Однако объемы стратосферного воздуха, вовлекаемые в нисходящие потоки С<sub>б</sub>, невелики, горизонтальные размеры и время существования нисходящих потоков также невелики. Поэтому применительно к конкретному грозовому очагу эффект стратосферно-тропосферного переноса мал. Однако в среднем по полушарию, суммированный по длительному периоду (год), он обеспечивает заметные потоки тропосферного воздуха в стратосферу, а стратосферного – на тропосферные уровни. Обнаружить области возможных опусканий воздуха из стратосферы в конвективных системах можно с помощью расчета или измерения высот верхних границ конвективных облаков и сравнения их

высот с высотой тропопаузы. В местах, где облачные вершины поднимались выше тропопаузы, в нисходящих потоках внутри облака мог опускаться стратосферный воздух.

Фронтотенез в высотных фронтальных зонах обуславливает развитие глубоких и сравнительно долгоживущих опусканий стратосферного воздуха на тропосферные уровни, так же, как и поднятий тропосферного воздуха на нижнестратосферные уровни. Так, в условиях фронтотенеза (т.е. увеличения горизонтальных градиентов температуры) в мощном слое верхней и средней тропосферы и нижней стратосферы развивается вертикальная циркуляция с опусканием воздуха на холодной стороне и подъема его на теплой стороне высотной фронтальной зоны. При этом опускание воздуха обнаруживается в виде области понижения тропопаузы с характерными размерами порядка сотен километров. Такие области носят названия воронок или стримеров и представляют собой зоны стратосферных вторжений. Поднимающийся по соседству тропосферный воздух образует более обширные области повышения тропопаузы до высот более 12 км, называемые куполами.

Чаще всего тропопауза в зонах стратосферных вторжений опускается до уровней изобарических поверхностей 400-450 гПа, т. е. до высот около 7 км над уровнем моря. Однако иногда стратосферные вторжения оказываются очень глубокими, так что стратосферный воздух достигает пограничного слоя атмосферы и даже подстилающей поверхности. В таких случаях наблюдения обнаруживают повышенную  $\beta$ -активность и наличие такой типично стратосферной составляющей, как Ве-7. Заметим, что повышенная  $\beta$ -активность может быть обусловлена различными причинами помимо стратосферных вторжений, в том числе техногенными, тогда как Ве-7 имеет чисто стратосферное происхождение и рассматривается поэтому как трассер стратосферного воздуха.

Стратосферные вторжения обнаруживаются путем расчета высоты тропопаузы над изучаемой территорией и выявления воронок или стримеров тропопаузы, причем обнаруживается и уровень, до которого стратосферный

воздух мог опуститься.

## **Г.2 Синоптическая ситуация, барическое поле в тропосфере и струйные течения над ЕТР и Уралом в период с 23.09.2017 г. по 5.10.2017 г.**

В изучаемый период синоптическая ситуация у земли характеризовалась наличием обширного антициклона с центром над Белым морем, с гребнем, распространяющимся на Западную Сибирь, что обусловило интенсивный восточный перенос над южной частью ЕТР и юго-восточные ветры над центральной Европой. В течение периода антициклон сохранял свое положение и увеличивался по площади, а его гребень, направленный к востоку, усиливался и принимал характер второго центра высокого давления (рисунок Г.1).

В средней тропосфере (поверхность 500 гПа) в течение всего периода сохраняется центр высокого давления над Прибалтикой и северо-западом ЕТР, но над Западной Сибирью образуется область пониженных высот АТ500. Между ними развивается не слишком интенсивная высотная фронтальная зона, к западу от которой располагается более теплая воздушная масса, а к востоку – более холодная (рисунок Г.2). Антициклон, занимающий значительную часть изучаемой области, имеет характер блокирующего антициклона. На поверхности 300 гПа, лежащей вблизи тропопаузы, ситуация сходна с АТ500: центры высокого и низкого давления сохраняют то же положение, и высотная фронтальная зона проходит над восточной половиной ЕТР в меридиональном направлении (рисунок Г.3).

В высотной фронтальной зоне, по мере ее развития, появляется струйное течение. 24 сентября оно появляется в виде небольшой области, очерченной изотахой 30 м/с, внутри которой изотаха 40 м/с очерчивает область максимального ветра северного направления (рисунок Г.4). На следующий день по потоку вдоль высотной фронтальной зоны смещается более интенсивное струйное течение со скоростями ветра более 50 м/с на

оси, с северными и северо-восточными ветрами (рисунок Г.5). Поскольку высотная фронтальная зона и струйное течение со временем усиливаются, есть основания предполагать, что в их дельте может развиваться вертикальная циркуляция

### Г.3 Топография тропопаузы

Высота тропопаузы рассчитывалась по данным анализа NCEP с шагом сетки  $1^\circ$  по широте и долготе (поля температуры и ветра). Для того чтобы более детально отследить наличие минимумов высоты тропопаузы, рассчитывалась не термическая тропопауза, определяемая по критерию ВМО (см. п. 1), а более чувствительная к особенностям топографии и к наличию минимумов высот так называемая динамическая тропопауза, которая рассчитывается как фиксированная изоповерхность так называемого потенциального вихря Эртеля

$$PV = -g(\zeta + f)\frac{\partial\theta}{\partial p}.$$

Здесь  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\zeta$  – относительная завихренность,  $f$  – параметр Кориолиса,  $\theta$  – потенциальная температура,  $p$  – давление.

Данная величина является сохраняемой характеристикой воздушных частиц, и ее значения различаются на порядок в тропосфере и в стратосфере. Нами рассчитывались высоты (гПа) изоповерхности  $PV$ , наиболее близкой к термической тропопаузе.

Подчеркнем, что изоповерхность  $PV$ , соответствующая тропопаузе, обрисовывает объемы стратосферного воздуха, где бы они ни находились, и проходит под ними, так что ниже этой изоповерхности стратосферный воздух находиться не может.

Гидрометцентр России получает карты тропопаузы, рассчитываемые в Метеослужбе Великобритании (UK Met. Office) с использованием критерия ВМО (термическая тропопауза). Сравнивая их с рассчитанной нами



динамической тропопаузой, можно оценить уровень детальности воспроизведения топографии тропопаузы, рассчитанной тем и другим методом. На рисунках Г.6 и Г.7 представлены карты термической и динамической тропопаузы соответственно для одного и того же срока. Из сравнения рисунков видно, что общий характер топографии одинаков: на большей части территории тропопауза лежит вблизи поверхности 200 гПа, с несколькими понижениями, локализация которых в общем одинакова на обоих рисунках. На рисунке Г.6 имеется понижение тропопаузы ниже 350 гПа к северо-западу от Челябинска на расстоянии около 400 км, которому соответствует понижение термической тропопаузы на рисунке Г.7, очерченное изобарой 250 гПа. Таким образом, глубина опускания тропопаузы различается на 100 гПа (высоты поверхностей 350 и 250 гПа близки соответственно к 8 и 10,5 км). Довольно обширная область пониженной до 350 гПа тропопаузы, протянувшаяся на запад от юга Украины представлена на рисунке Г.7 двумя понижениями ниже 250 гПа в тех же районах. Также на рисунке Г.6 имеется неглубокая воронка к востоку от северной части Каспийского моря, на рисунке Г.7 она не выражена. Таким образом, отслеживать понижения тропопаузы более целесообразно по результатам расчета динамической тропопаузы.

Проследим эволюцию тропопаузы в течение изучаемого периода.

Над областью антициклона тропопауза стабильно располагается около поверхности 200 гПа (т.е. около 12 км) или несколько выше, а на его периферии и по восточной стороне высотной фронтальной зоны (в холодном воздухе) проходят слабые минимумы высоты тропопаузы. Один из них, показанный на рисунке Г.6, уже через сутки смещается по потоку к югу и углубляется до 400 гПа (7 км), затем поворачивает к востоку. Тем временем с севера спускается новый, более обширный минимум с таким же давлением в центре (рисунке Г.8), а на остальной части карты существенных понижений тропопаузы не появляется. Такие слабые минимумы затем один за другим поворачивают на восток и уходят за пределы карты. К 29 сентября надо всей

изучаемой областью тропопауза лежит вблизи поверхности 200 гПа, а 1 октября наблюдается снова минимум высоты тропопаузы (около 6,5 км) над Поволжьем. Затем он мигрирует к югу и заполняется, а над югом области 3 октября отмечается высокий купол тропопаузы (выше поверхности 150 гПа, т. е., около 13.5 км, рисунок Г.9). До конца периода больше заметных понижений тропопаузы не обнаруживается, и только в 12 ч 5 октября появляется минимум, очерченный изобарой 400 гПа, над Белоруссией.

Таким образом, динамика тропопаузы за рассматриваемый период характеризовалась в целом спокойным режимом. Наблюдаемые в восточной и юго-восточной частях ЕТР и над югом Украины неглубокие минимумы ее высоты не могут рассматриваться как стратосферные вторжения, поскольку стратосферный воздух в них не опускался глубже, чем до высот 6,5-7 км над уровнем моря.

Это согласуется с данными радиометрической сети: согласно данным, полученным нами из Росгидромета, нигде на изучаемой области не было зарегистрировано трассера стратосферного воздуха – Ве-7.

#### **Г.4 Конвекция над изучаемым районом в период с 23.09.2017 г. по 5.10. 2017 г.**

Высоты вершин конвективных облаков рассчитывались по оперативно используемому методу, представляющему собой численную реализацию известного метода частицы. Расчет проводился по данным объективного анализа NCEP в узлах географической сетки с шагом 1°.

На рисунке Г.10 представлены высоты (км) верхних границ конвективных облаков над изучаемым районом за срок 12 ВСВ (15 мск), что близко к максимуму в суточном ходе температуры и ко времени интенсивного развития конвекции. На карте показаны высоты уровня конвекции (высоты верхних границ конвективных облаков) в километрах. Практически в течение всего периода в области блокирующего антициклона

конвекция не развивалась, а на его западной периферии и частично на восточной развивалась неглубокая конвекция до высот 3-7 км. Над Кавказом и югом Черного моря конвекция была более активной, верхние границы облаков достигали 11-12 км. Вся эта конвекция была тропосферной и не пробивала тропопаузы, которая над большей частью области располагалась на высотах около 12 км, а в областях понижения – на высотах 6,5-7 км. Таким образом, поступление стратосферного воздуха в тропосферу в результате конвективной деятельности не могло иметь места.

### **Выводы**

1) Согласно современным представлениям, стратосферно-тропосферный обмен происходит в результате крупномасштабных движений в высотных фронтальных зонах, когда возникают глубокие вертикальные циркуляции с опусканием тропопаузы и вышележащего стратосферного воздуха на тропосферные уровни (иногда – до земли) и «выпячивания» куполов тропосферного воздуха на стратосферные уровни. Другим, менее масштабным механизмом является глубокая конвекция (внедрение кучево-дождевых облаков в стратосферу и опускание стратосферного воздуха в нисходящих потоках внутри облаков).

2) В изучаемый период барическое поле у земли и в тропосфере над европейской Россией и Уралом характеризовалось наличием устойчивого (блокирующего) антициклона с центром в районе Прибалтики и Белоруссии. По его восточной и южной перифериям в высотной фронтальной зоне смещались участки малоинтенсивного струйного течения с ветрами северо-восточного и северного направлений.

3) Топография тропопаузы, подробно проанализированная по результатам расчета (с помощью концепции динамической тропопаузы), на большей части области располагалась на высотах около 12 км. В пределах высотной фронтальной зоны возникали к западу и к югу от

Урала, а также над югом Украины и центральной Европы неглубокие (до высот 6,5-7 км над уровнем моря) понижения тропопаузы, которые, ввиду их малой глубины, не могут рассматриваться как стратосферные вторжения. Тем более нет никаких оснований предполагать, что в этих областях стратосферный воздух мог проникать до земли.

4) Конвективная деятельность над ЕТР и Уралом в изучаемый период была слабой. Только на востоке области отмечалась мелкая конвекция (с верхней границей облаков 3-4 км). Над Центральной и Западной Европой конвекция была несколько более развита (до 6-8 км). Глубокая (до 11-12 км) конвекция отмечалась над Кавказом. При доминирующей высоте тропопаузы около 12 км облака над ЕТР и Уралом далеко не достигали тропопаузы и, следовательно, не могли переносить стратосферный воздух в нижние слои.

5) Таким образом, стратосферно-тропосферный обмен в период с 23.09.2017 г. по 5.10.2017 г. практически отсутствовал, так что вторжений стратосферного воздуха в нижние слои не наблюдалось. Этот вывод подтверждается тем фактом, что, по данным радиометрической сети Росгидромета, на станциях ЕТР и Урала не отмечено повышенных концентраций изотопа Ве-7, известного как трассер стратосферного воздуха.

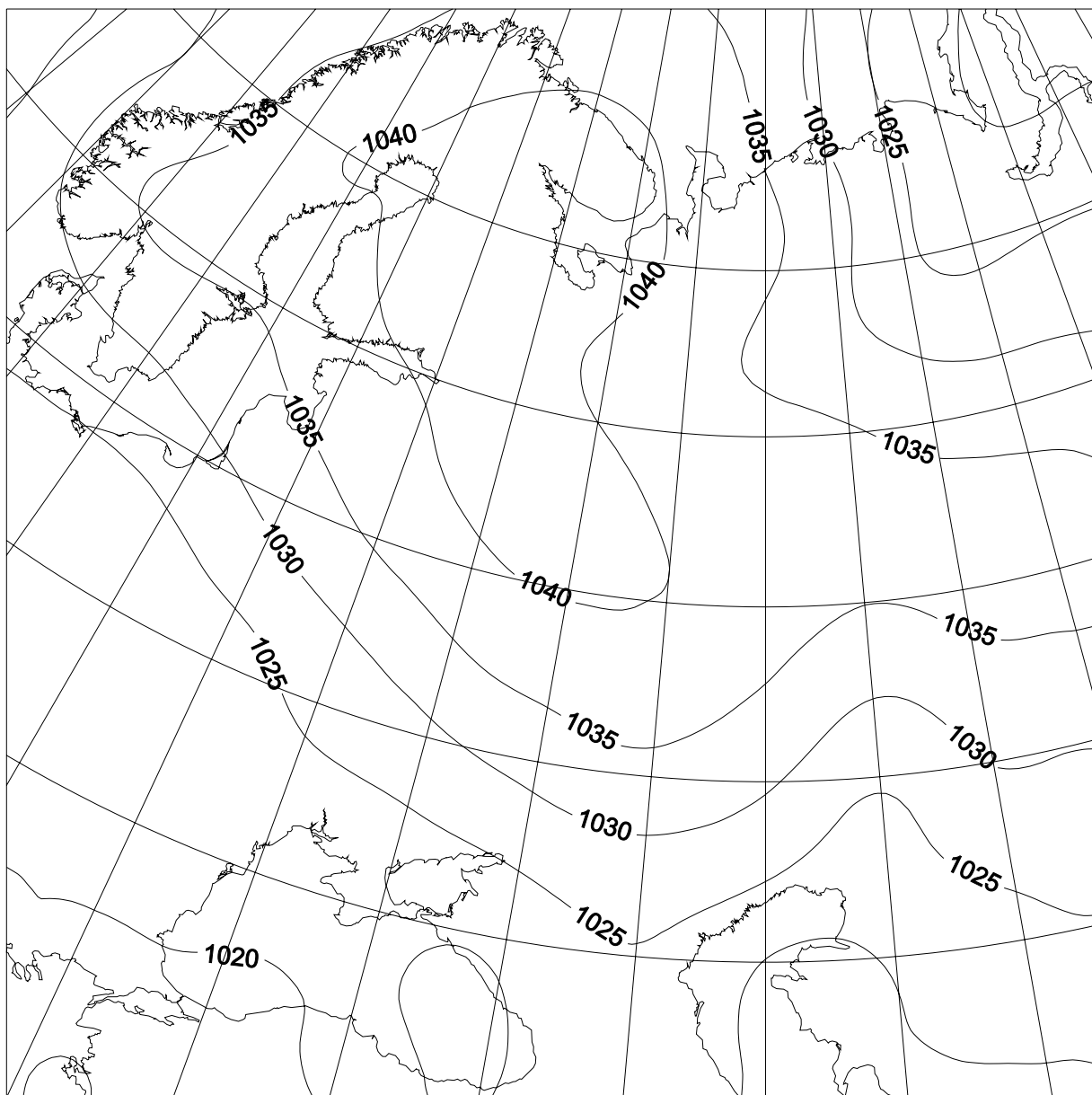


Рисунок Г.1 – Поле давления на уровне моря в 00 ВСВ 25 сентября 2017 г.

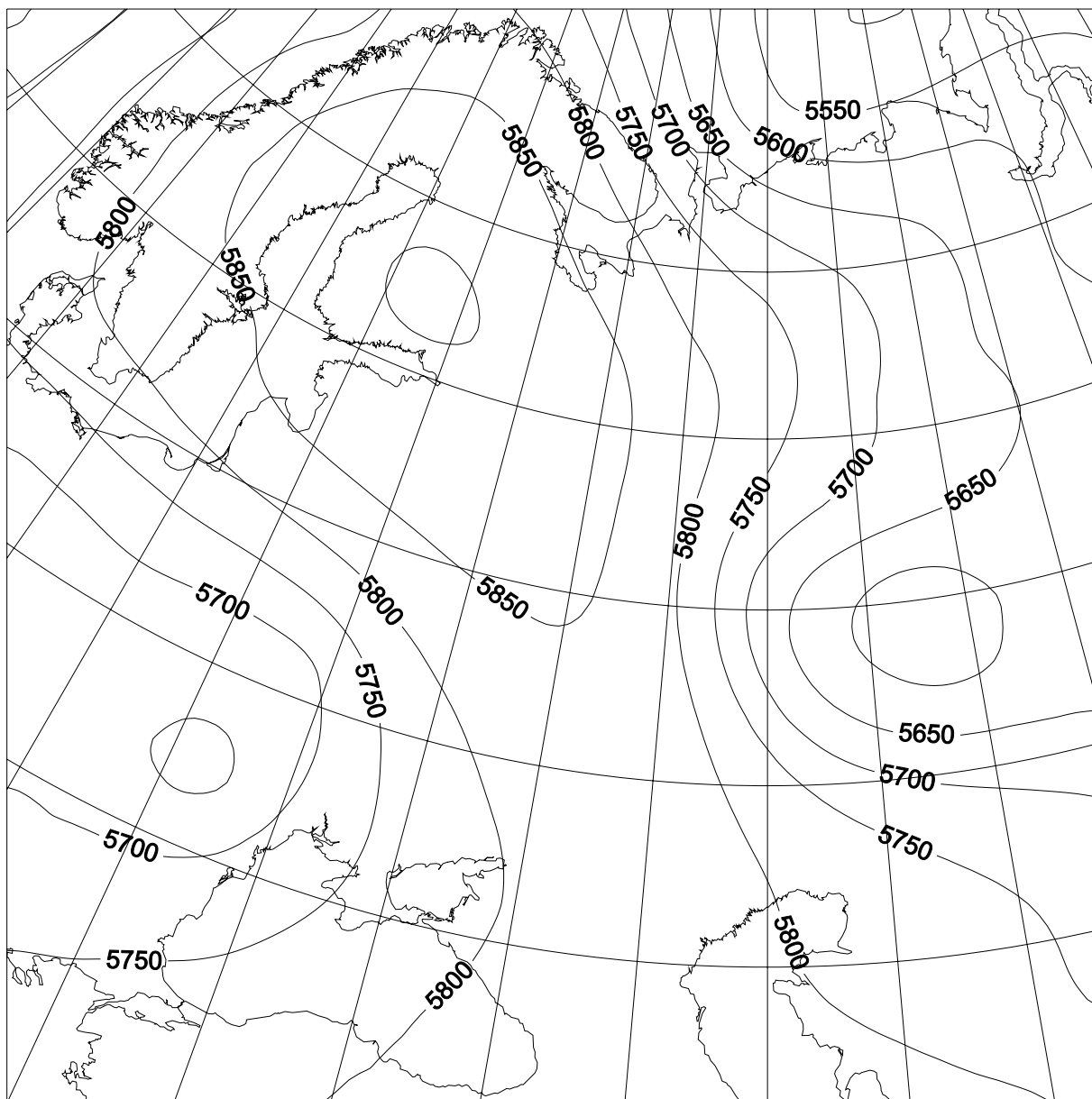


Рисунок Г.2 – Топография изобарической поверхности 500 гПа в 12 ВСВ

24 сентября 2017 г.

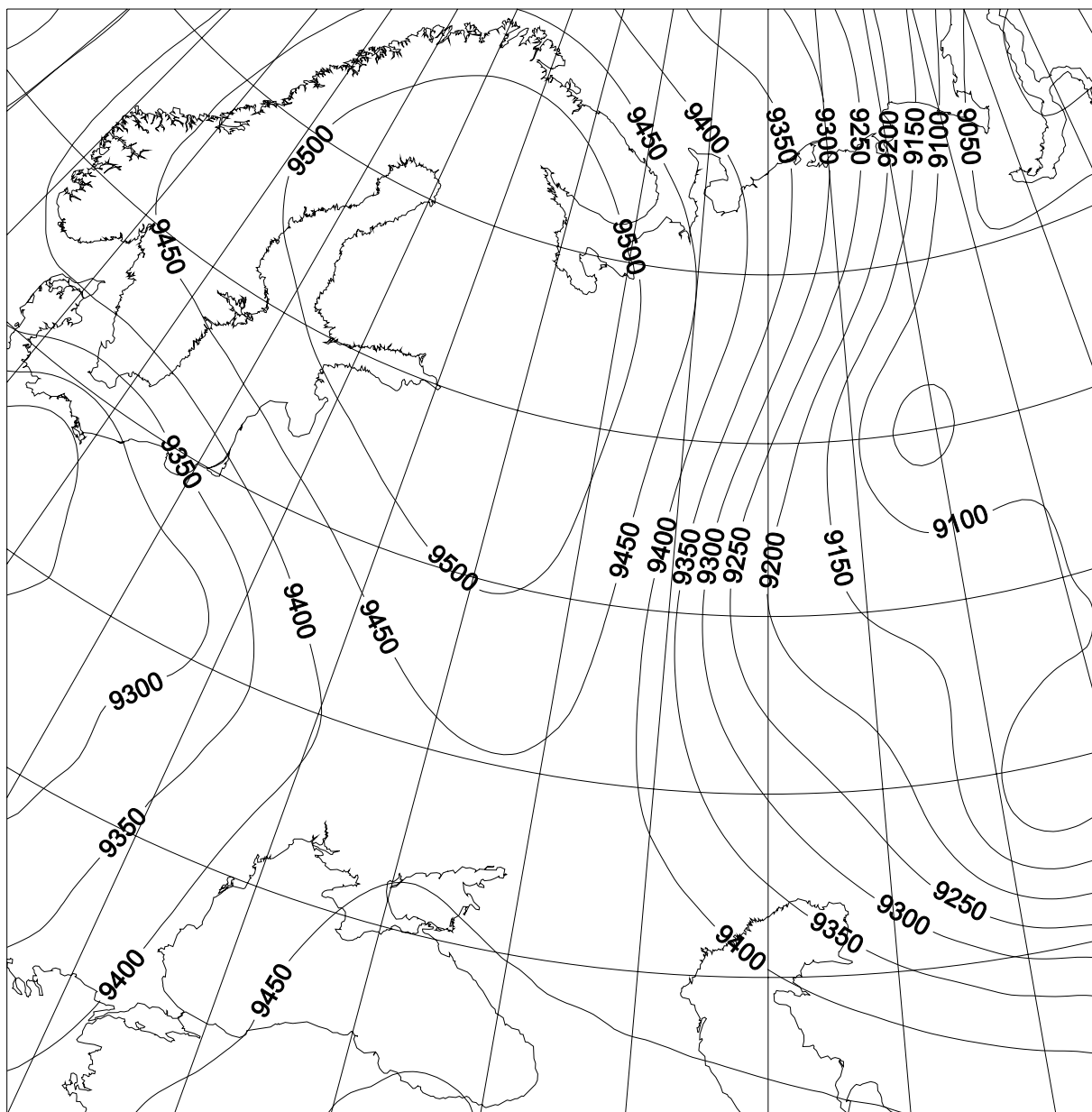


Рисунок Г.3 – Топография изобарической поверхности 300 гПа в 12 ВСВ

25 сентября 2017 г.

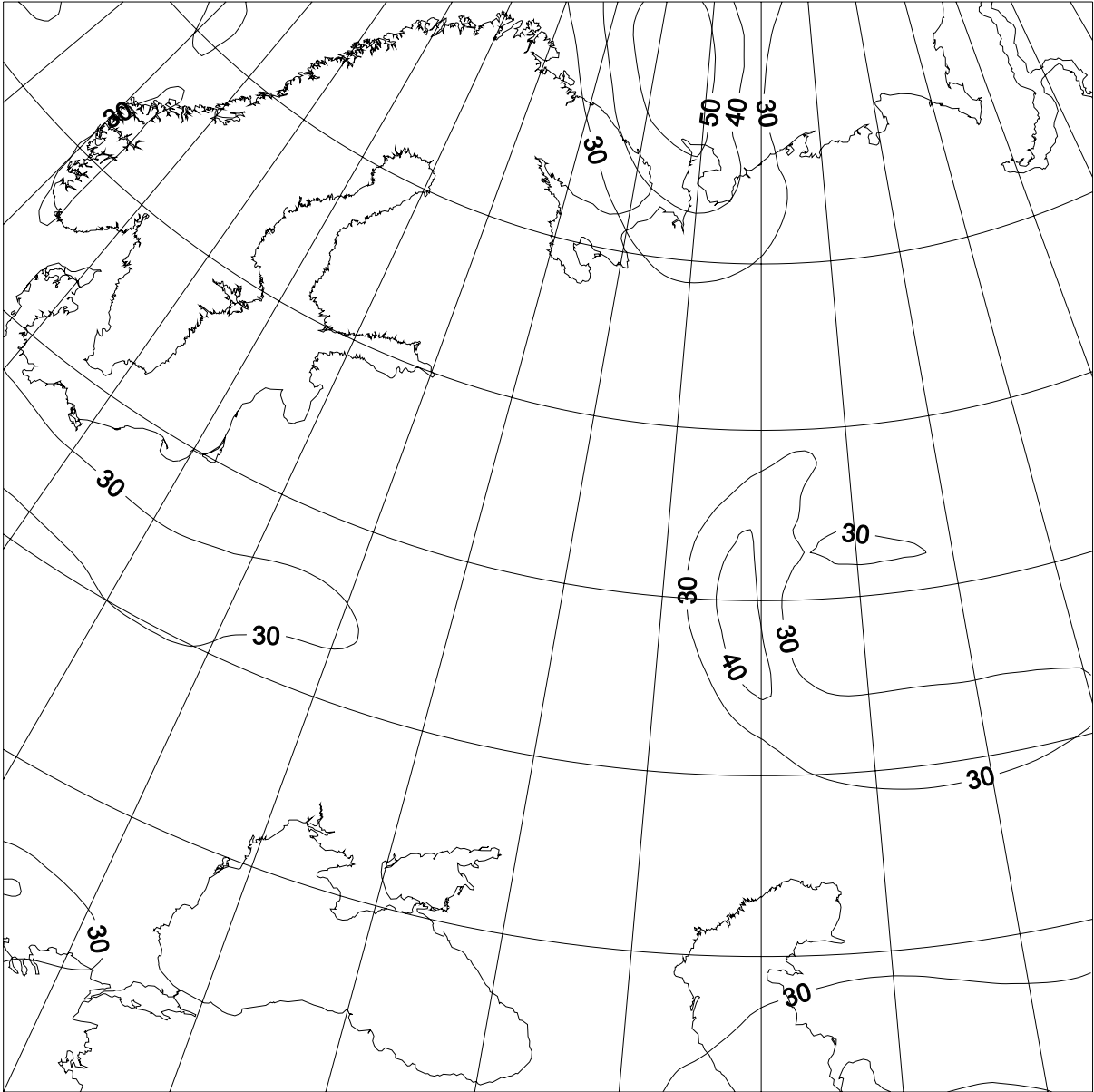


Рисунок Г.4 – Максимальный ветер и струйные течения 24 сентября 2017 г. в 12 ВСВ (изотахи в м/с)



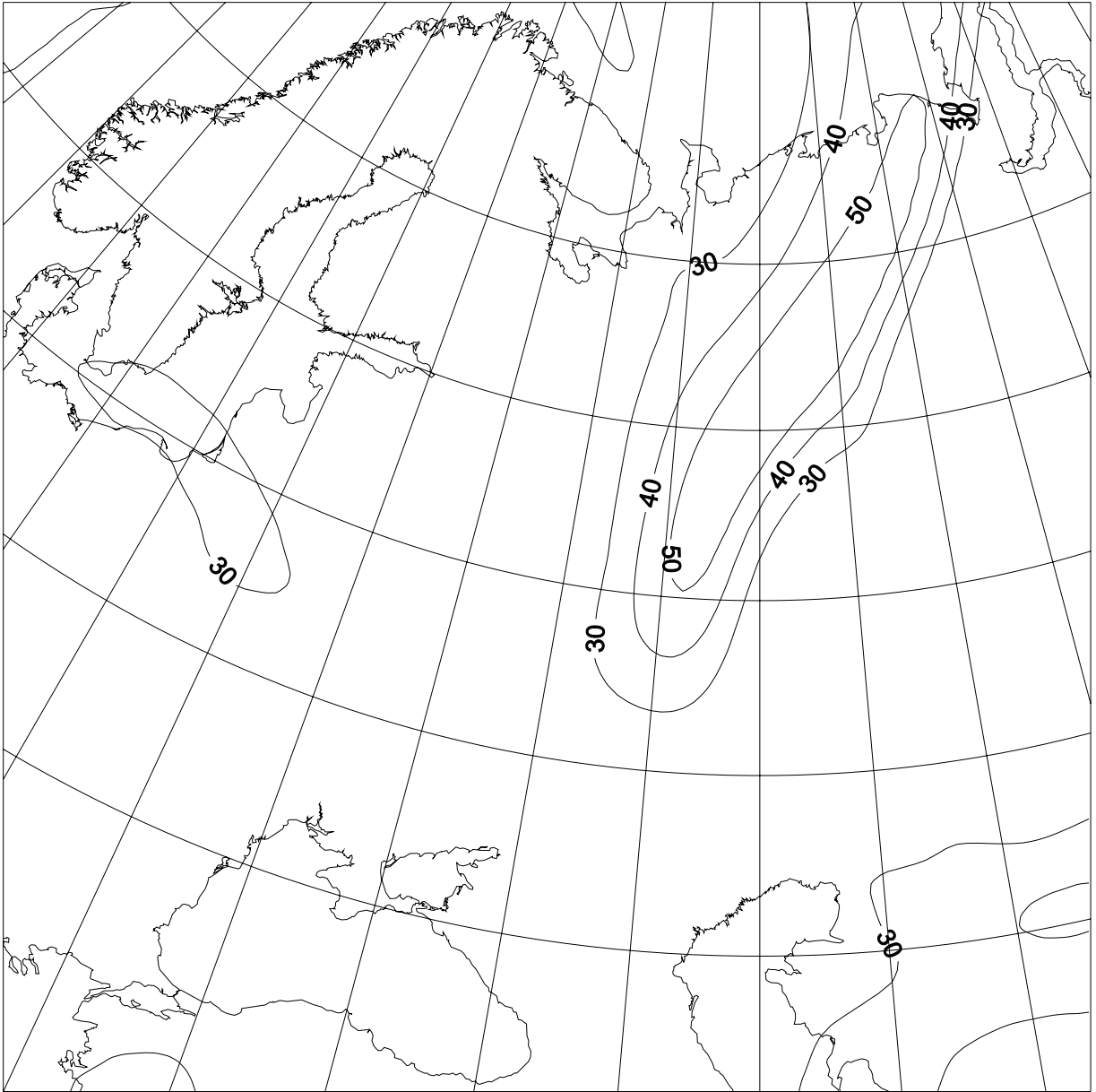


Рисунок Г.5 – Максимальный ветер и струйные течения 25 сентября 2017 г. в 12 ВСВ (изотахи в м/с)

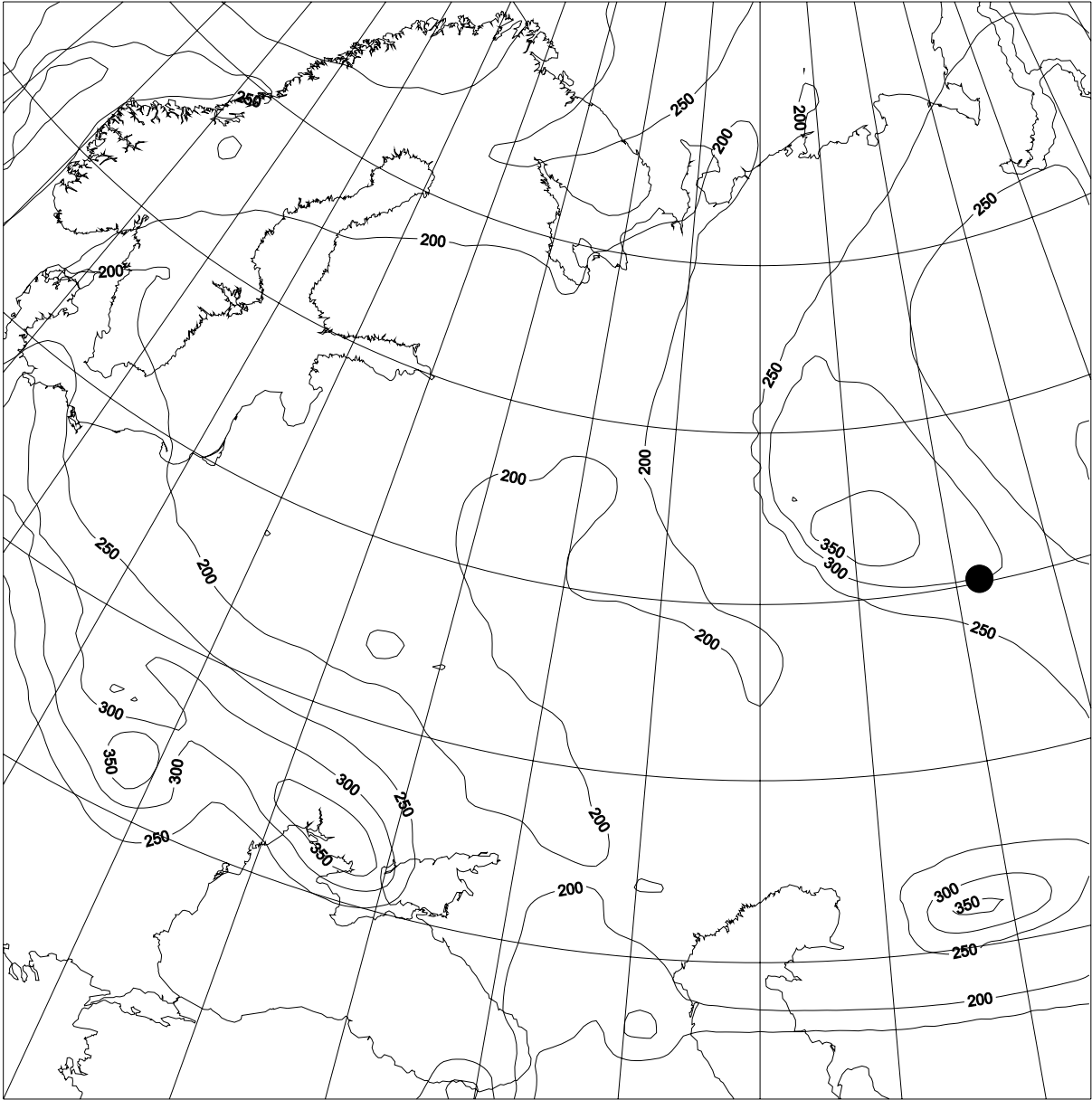


Рисунок Г.6 – Динамическая тропопауза (гПа) в 00 ВСВ 24 сентября 2017 г.

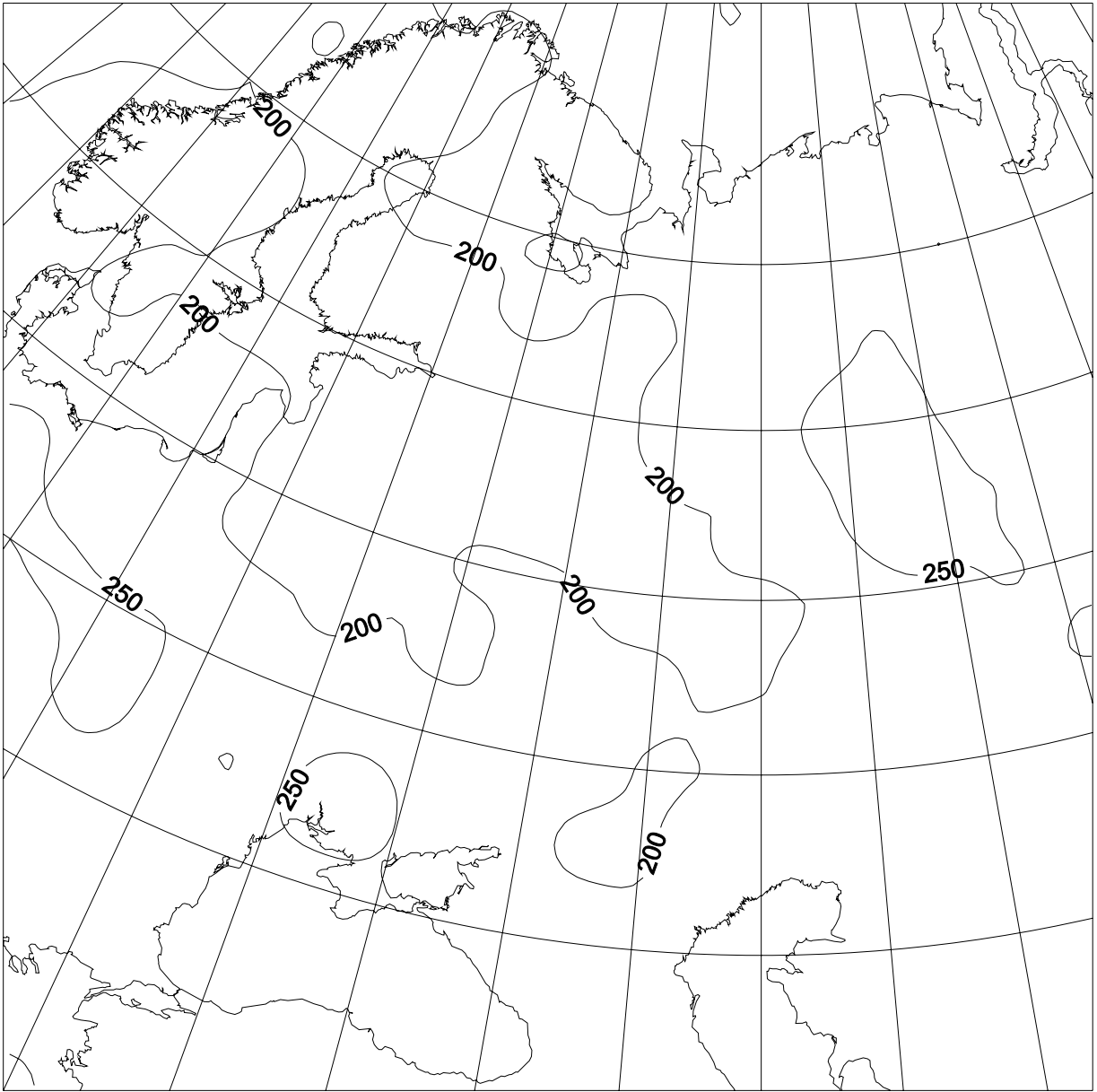


Рисунок Г.7 – Термическая тропопауза (гПа) в 00 ВСВ 24 сентября 2017 г.

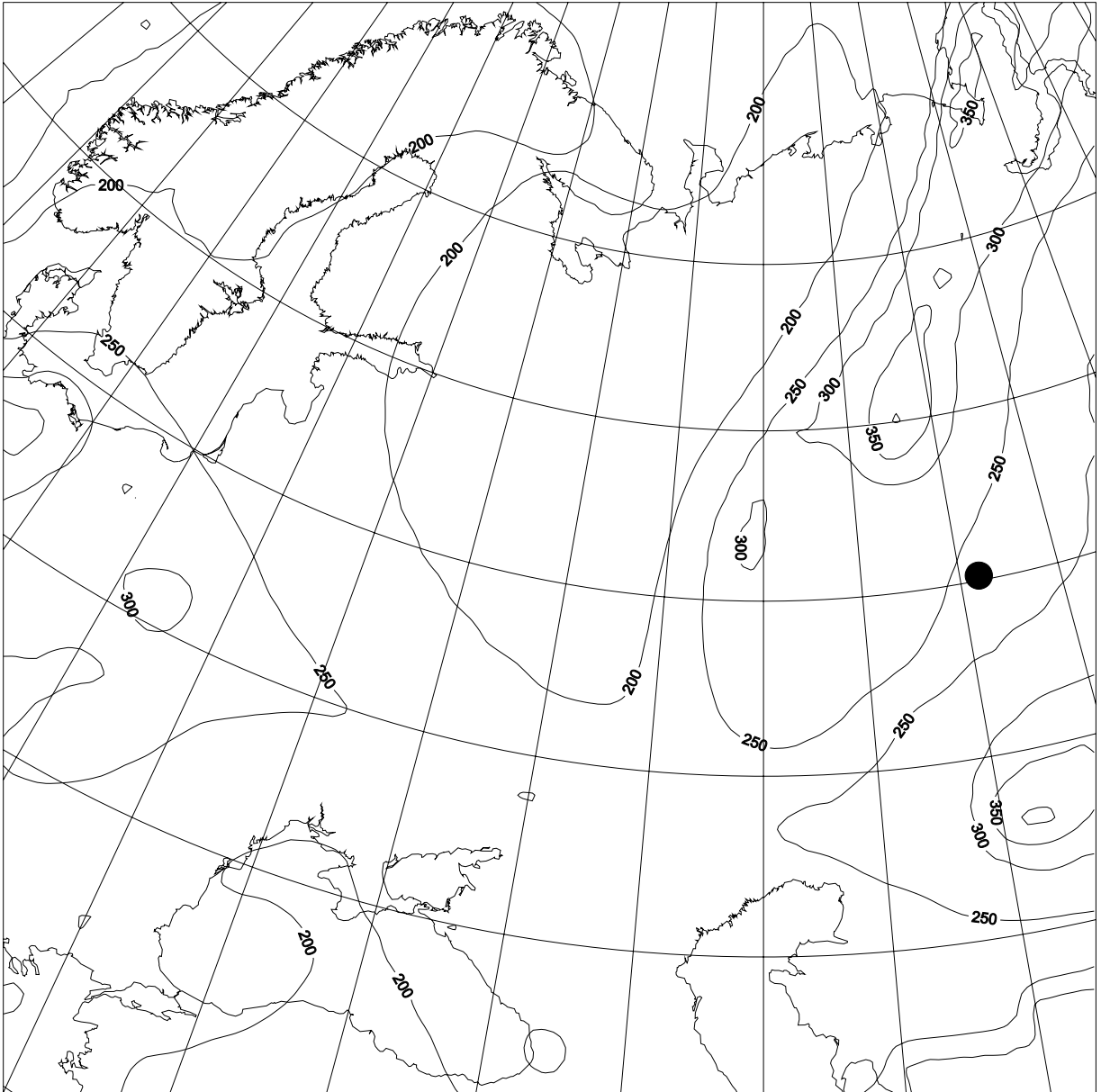


Рисунок Г.8 – Динамическая тропопауза (гПа) в 12 ВСВ 25 сентября 2017 г.

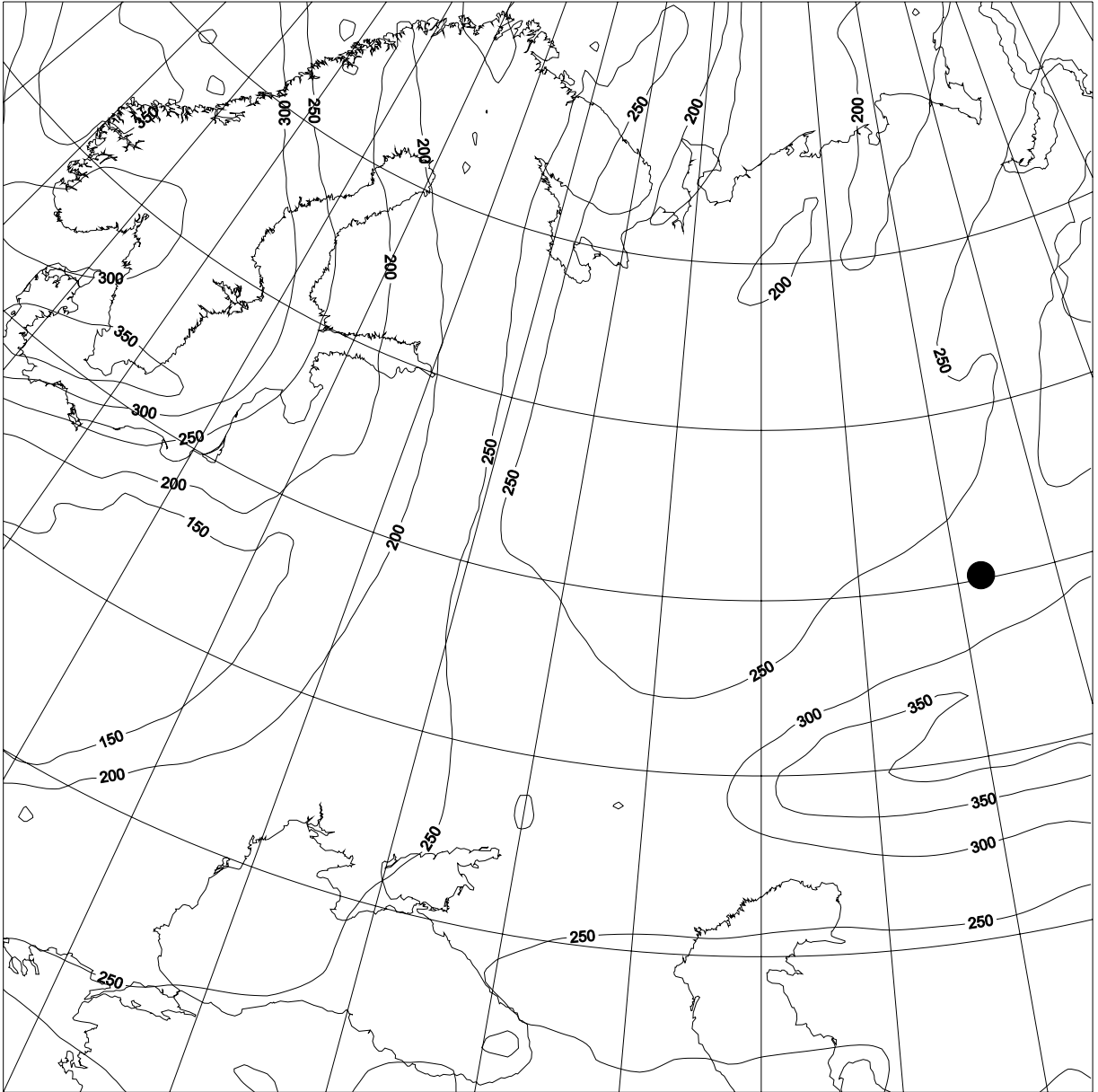


Рисунок Г.9 – Динамическая тропопауза (гПа) в 00 ВСВ 3 октября 2017 г.

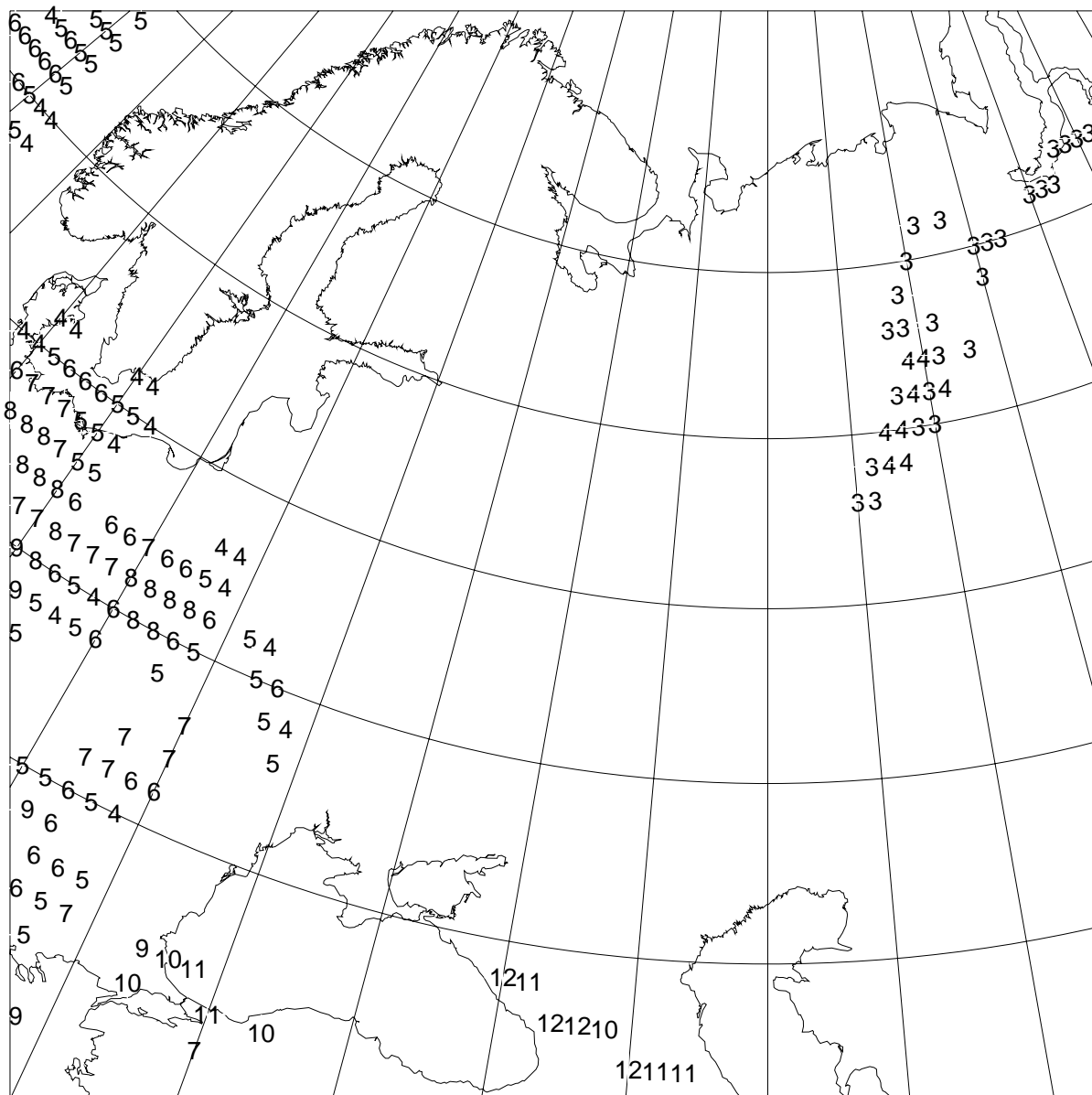


Рисунок Г.10 – Высоты уровня конвекции (км) в 12 ВСВ 25 сентября 2017 г.

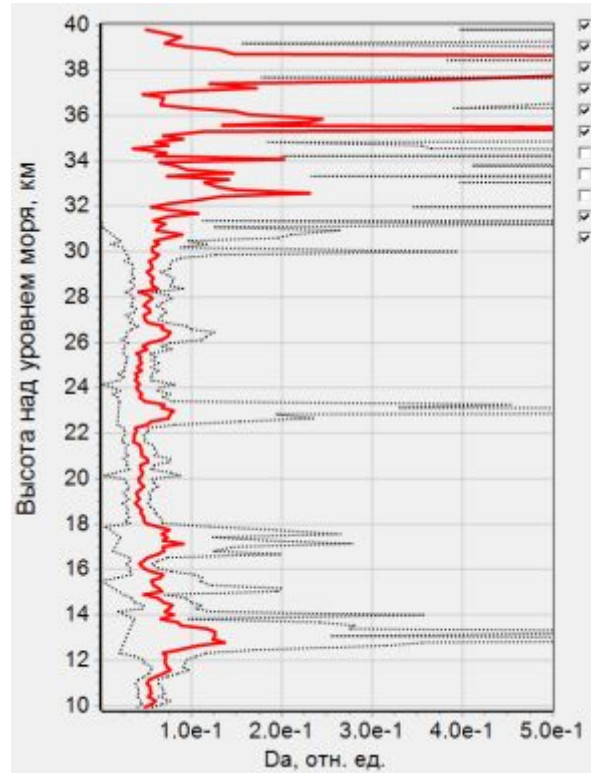
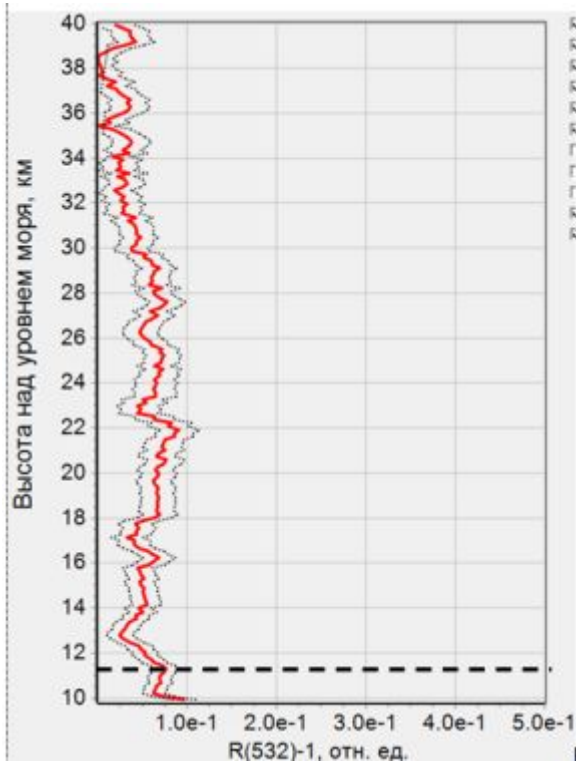
## Приложение Д. Анализ возможности поступления рутения-106 в приземную атмосферу из верхней тропосферы

На рисунке Д.1 представлены результаты измерений вертикального профиля отношения обратного рассеяния  $R(532, h)$  (слева) и степени деполяризации аэрозольного рассеяния  $d_a(h)$  (справа) в сентябре 2017 г. На первых графиках для сравнения показаны также типичные фоновые профили, наблюдавшиеся во второй половине августа 2017 г. Как следует из графиков и подтверждается другими измерениями, фоновый уровень  $R(532, h)-1$  для этого времени года не превышает 0,1. Фоновые уровни деполяризации составляют около 0,05. 31 августа 2017 наблюдается пик величины  $R(532, h)-1$ , но он лежит на уровне тропопаузы и относится к зарождающейся перистой облачности.

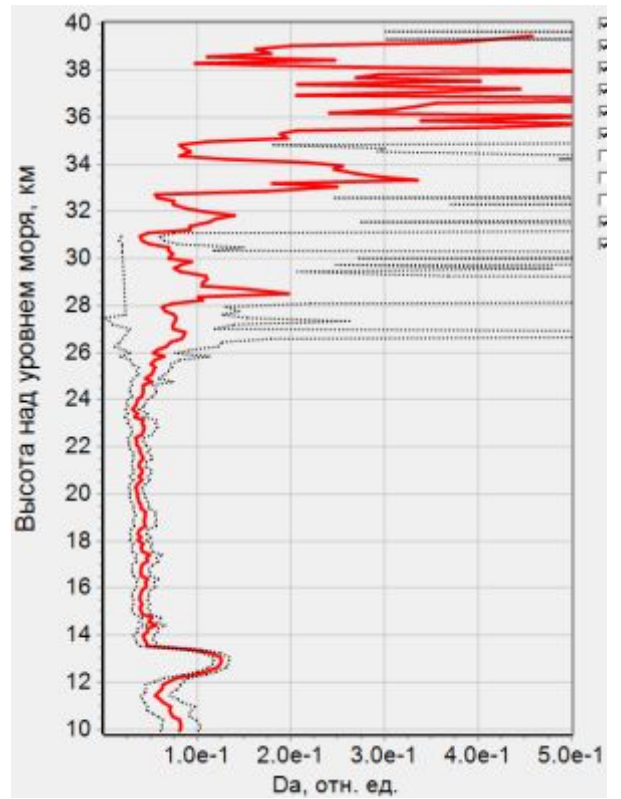
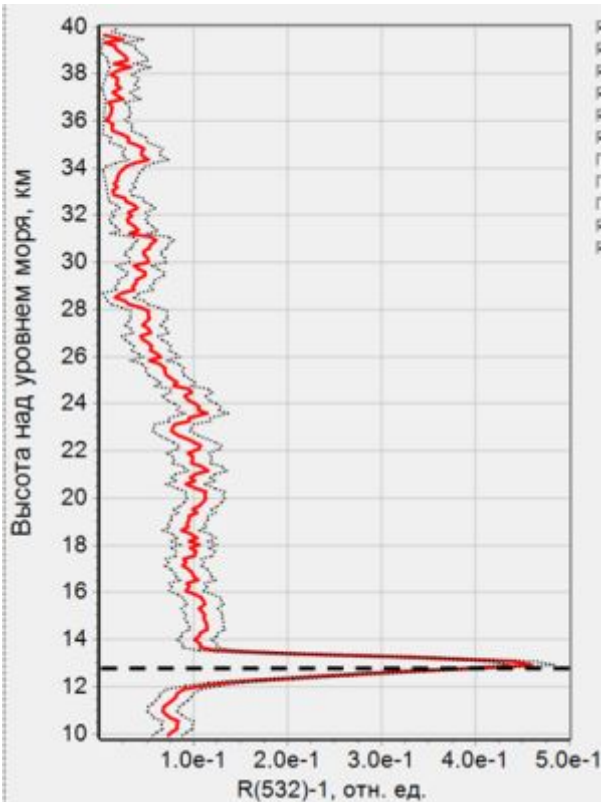
В сентябре, как видно из графиков, представленных на рисунке Д.1, наблюдались слои повышенного аэрозольного рассеяния в стратосфере на высотах от 12 до 16 км (положение тропопаузы отмечено штриховой линией). Пиковые значения  $R(532, h)-1$  в слоях повышенного рассеяния меняются от 0,25 до 0,6. Максимальные значения степени деполяризации меняются от 0,1 до 0,2.

В период с 22 по 25 сентября слои не наблюдались, либо были значительно слабее. 26 сентября вновь наблюдался сильный аэрозольный слой, на этот раз несколько выше, на уровне 16,7 км.

16.08.2017 г.

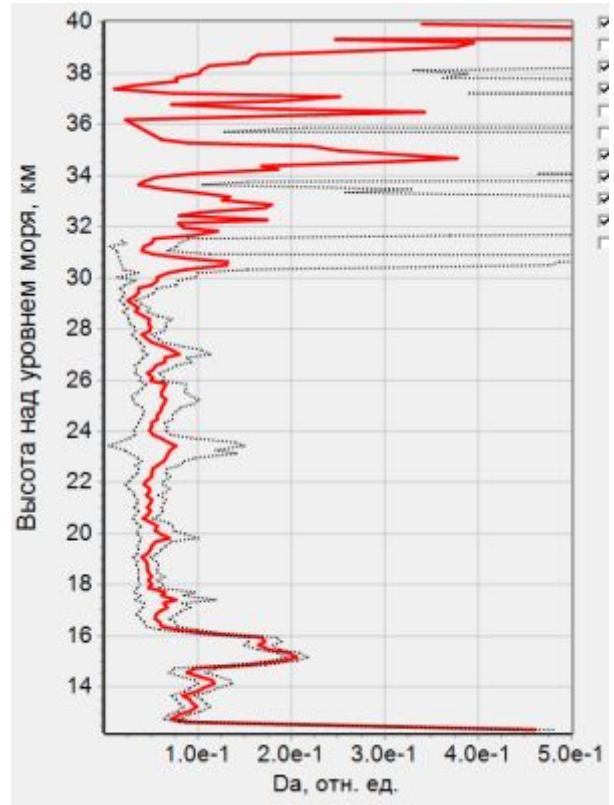
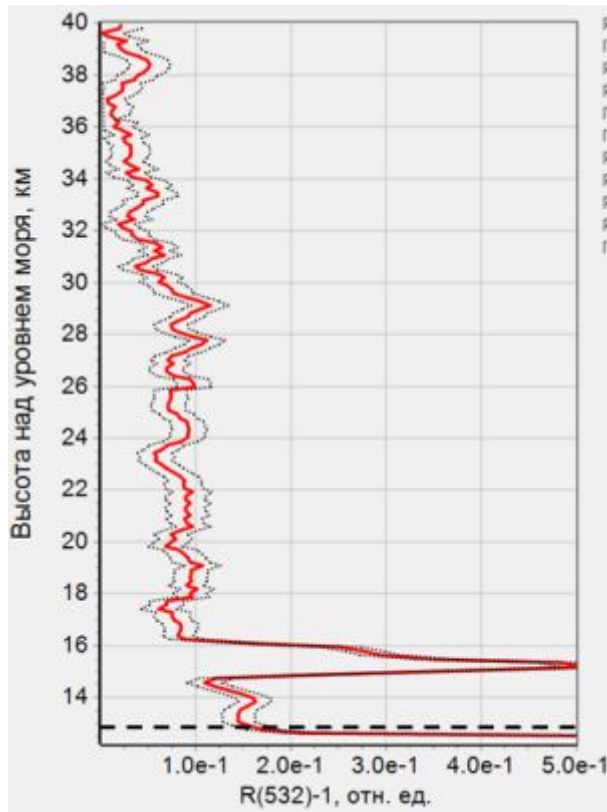


31.08.2017 г.

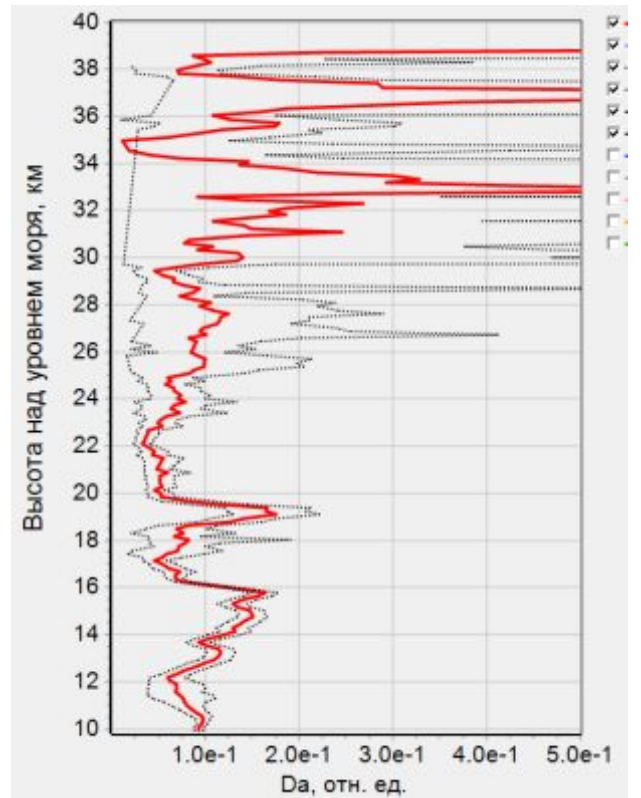
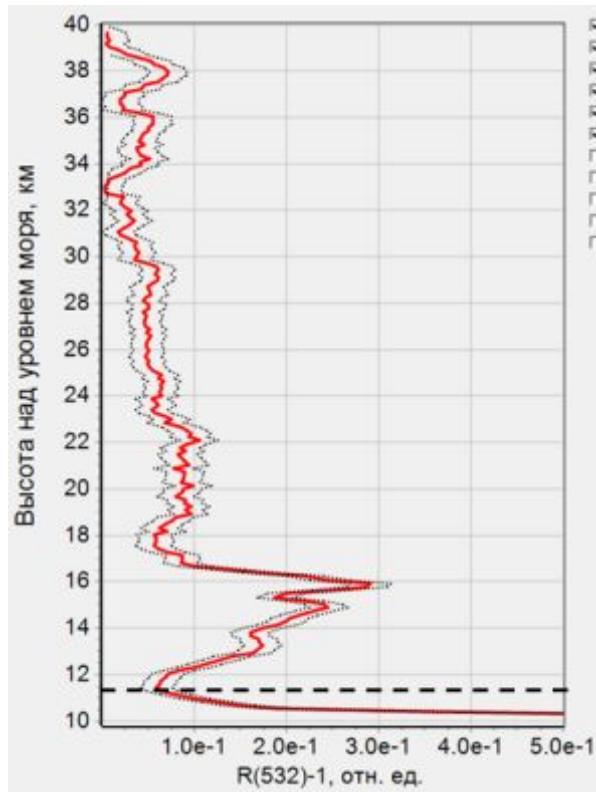




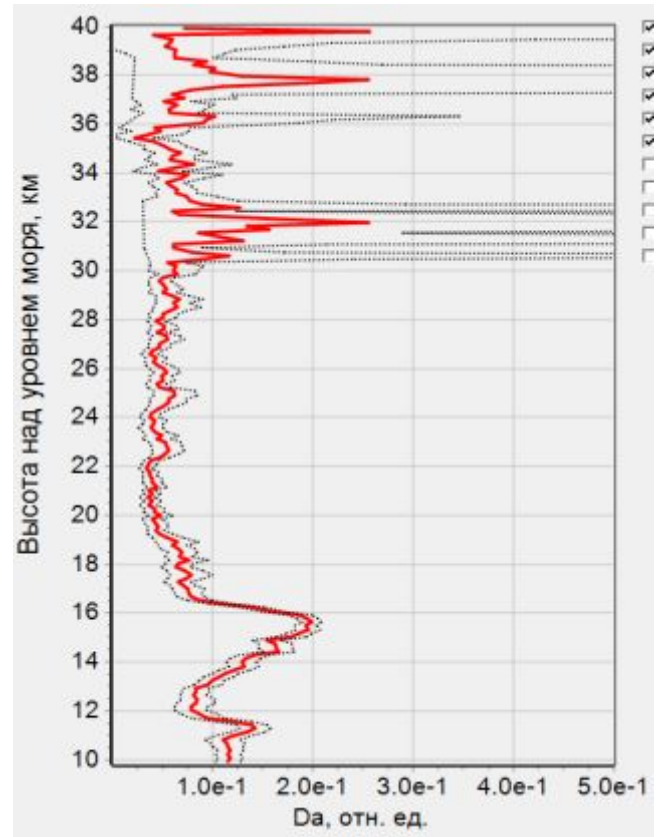
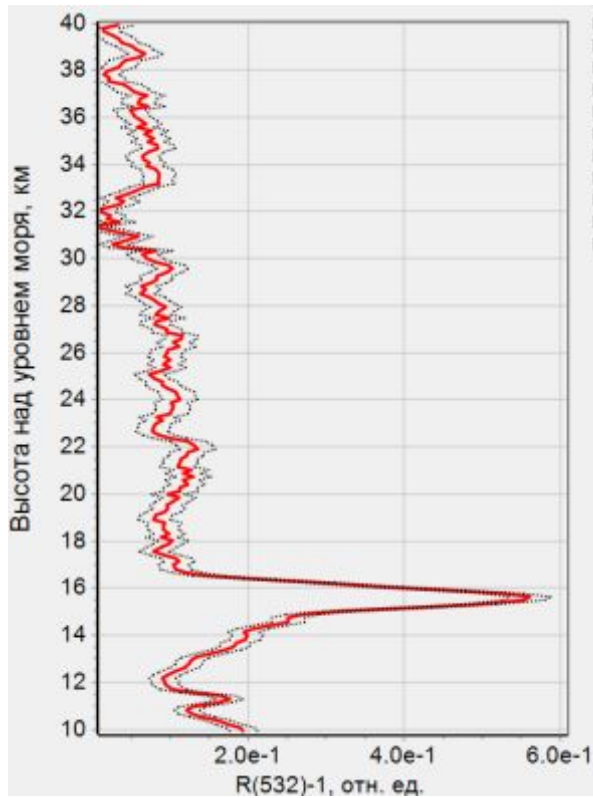
11.09.2017 г.



12.09.2017 г.

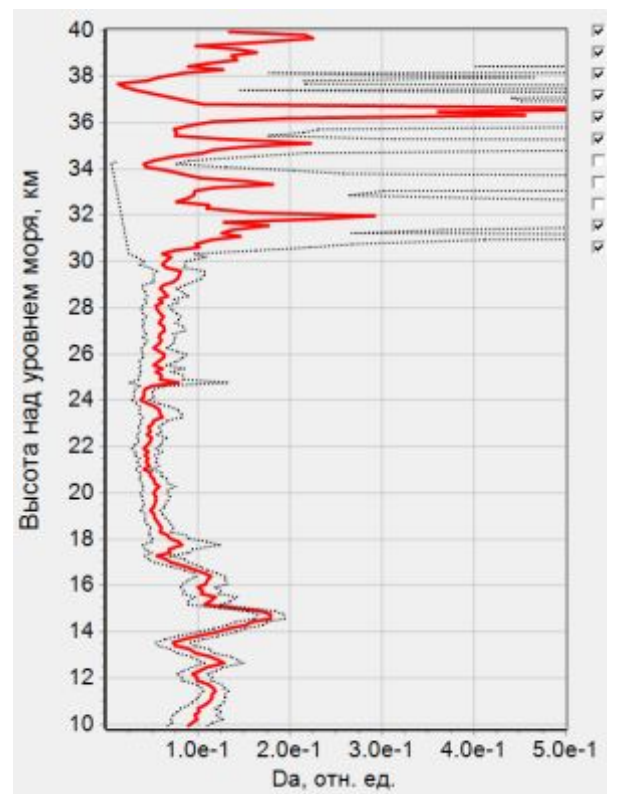
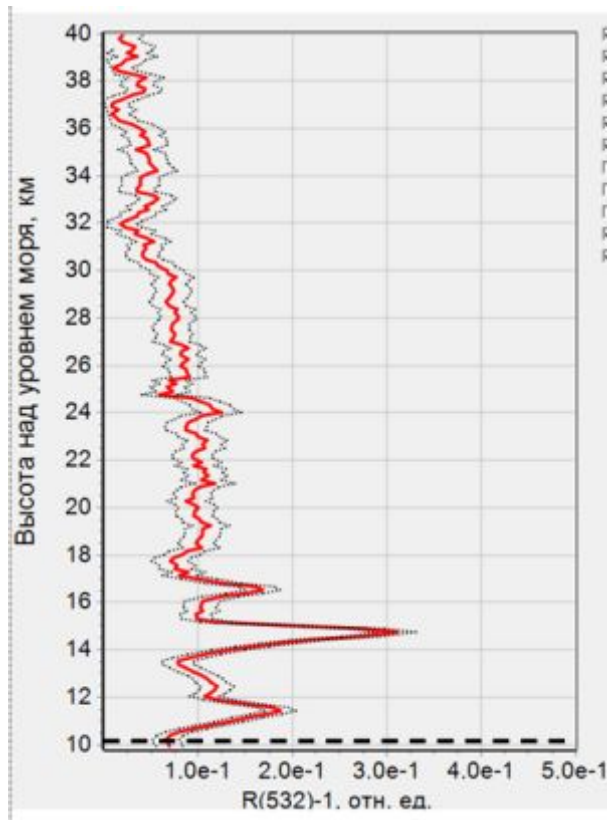


15.09.2017 г.

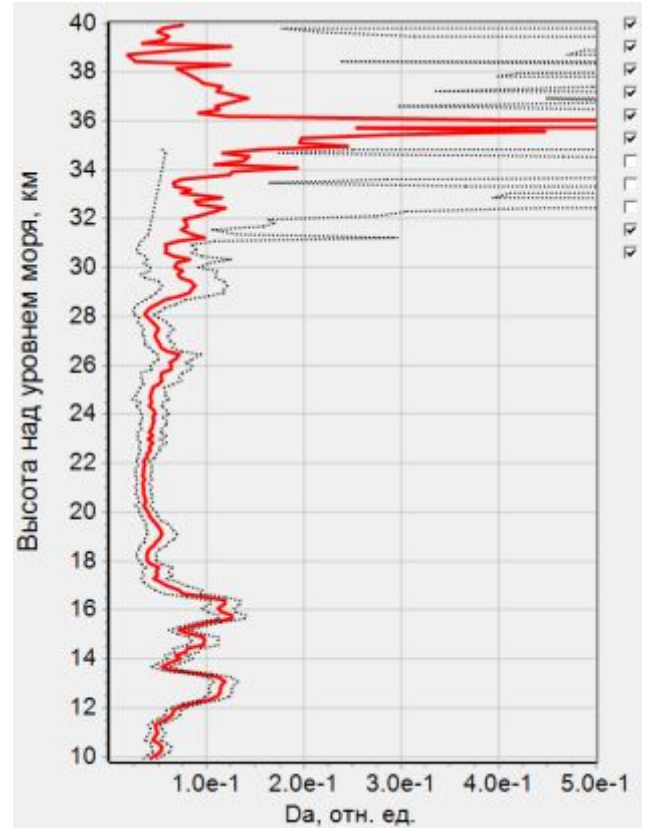
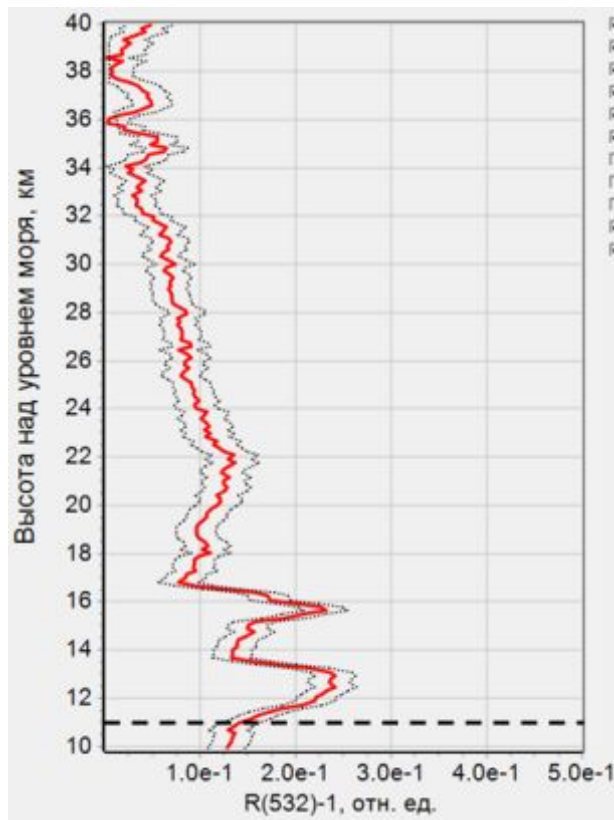


Тропопауза на 9 км

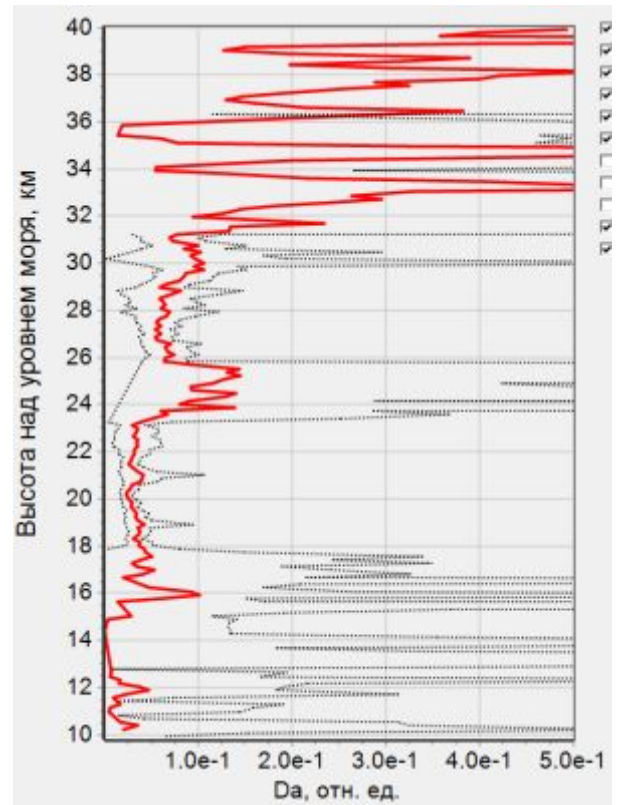
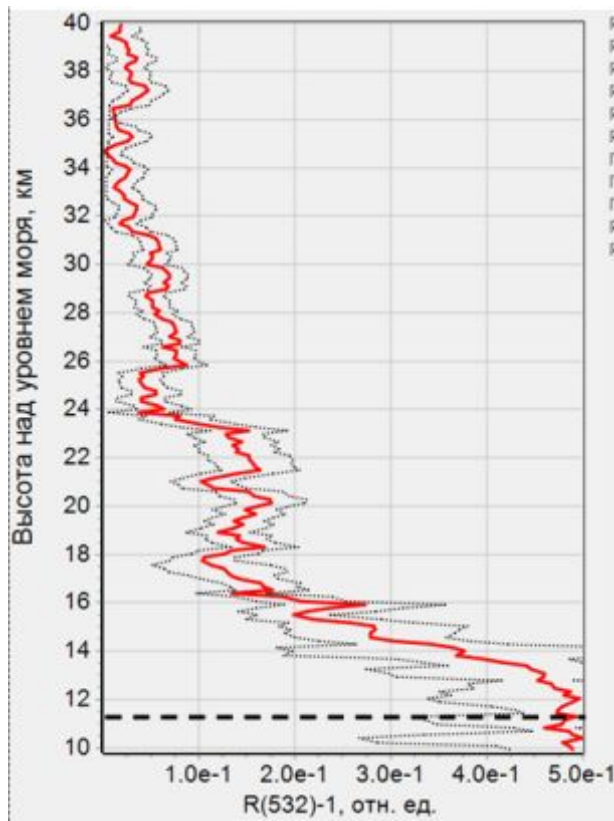
18.09.2017 г.



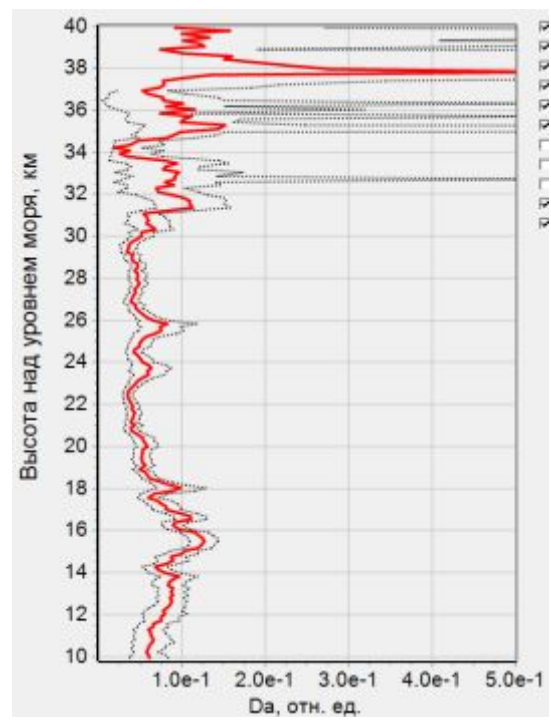
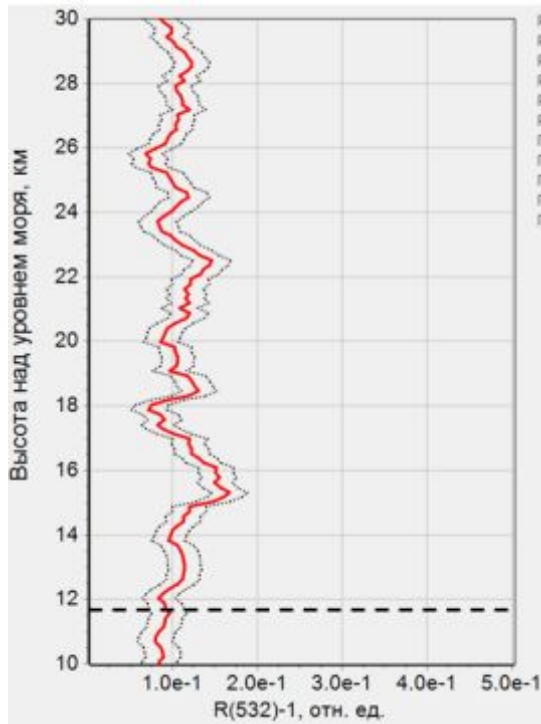
19.09.2017 г.



21.09.2017 г.



22.09.2017 г.



26.09.2017 г.

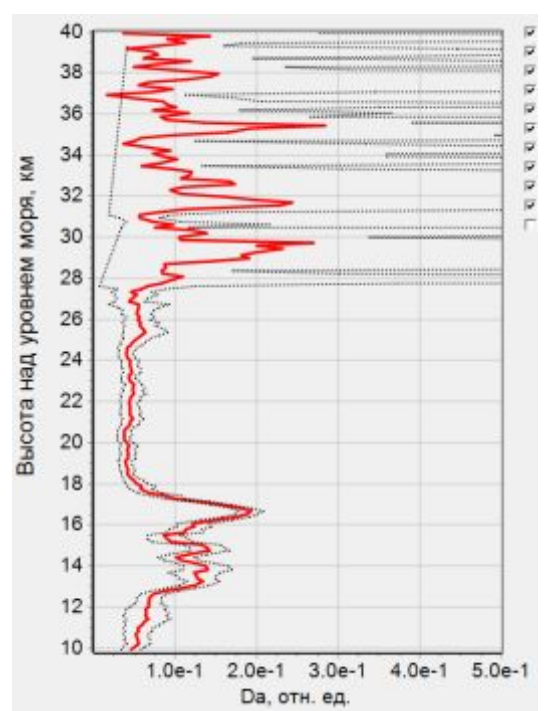
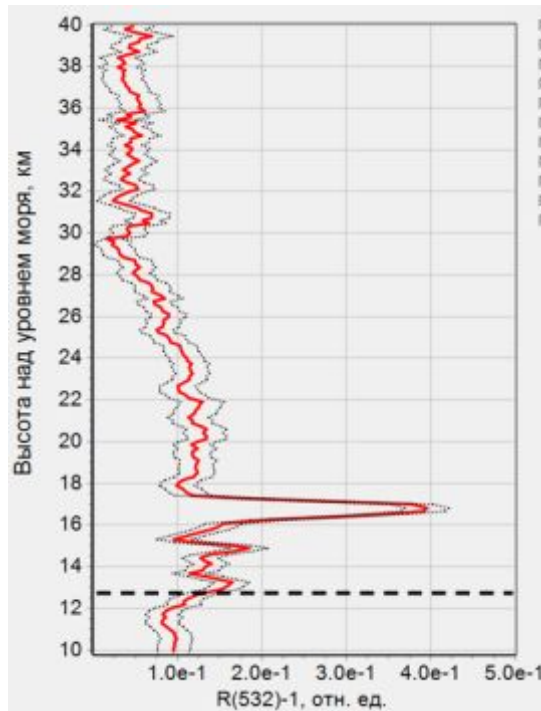


Рисунок Д.1 – Высотные профили отношения обратного рассеяния (слева) и степени деполяризации аэрозольного обратного рассеяния (справа), наблюдавшиеся в августе и сентябре 2017 г. над г. Обнинск. Положение тропопаузы отмечено штриховой линией

### *Анализ результатов измерений на Обнинской лидарной станции*

Появление слоев повышенного аэрозольного рассеяния в стратосфере может происходить по разным причинам. К ним относятся вулканические извержения взрывного типа и образование пирокумулясов (конвективных облаков) в результате мощных техногенных или природных (в частности, лесных) пожаров. Проникновение тропосферного аэрозоля в стратосферу происходит также в результате тропосферно-стратосферного обмена в складках тропопаузы, в области мощных конвективных образований в зоне отсеченных циклонов [1].

В 2017 г. мощных вулканических извержений в Северном полушарии с выбросом сернистых соединений в несколько сот килотонн, которые могли бы дать заметные аэрозольные слои в нижней стратосфере, не отмечалось.

В летнее время в районе северо-запада США - юго-запада Канады часто возникают сильные лесные пожары, сопровождающиеся образованием пирокумулясов и проникновением дымового аэрозоля в стратосферу. В результате преобладающих ветров, аэрозоль переносится в Европу. Такое образование пирокумулясов происходило и в 2017 г. Даты и районы образования пирокумулясов по данным спутниковых измерений, представлены на сайте Space Science & Engineering Center University of Wisconsin-Madison [2] и показаны в таблице Д.1.

Таблица Д.1 – Пирокумулясы в Северной Америке с 29 августа по 13 сентября 2017 г.

№	дата	координаты	время
1	29.08.2017	Oregon 44N;121,1W	20:15 UTC
2	30.08.2017	Oregon 43,8N; 121,4W	00:00UTC
3	03.09.2017	Montana 45,3N; 115,1W	23:00 UTC
4	03.09.2017	Montana 45,8N; 114,9W	23:30 UTC
5	04.09.2017	British Columbia 50,2N; 115,1W	01:00 UTC
6	04.09.2017	Oregon 45,7N; 121,9W	23:00 UTC
7	05.09.2017	Washington State 47,4N; 121,0W	01:00 UTC

8	13.09.2017	British Columbia 50,4N; 110,3W	00:00 UTC
---	------------	--------------------------------	-----------

Для выяснения происхождения наблюдавшихся аэрозольных слоев был проведен траекторный анализ с использованием программы HYSPLIT лаборатории NOAA. На рисунках Д.2 и Д.3 показаны прямые траектории воздушных масс из области образования пирокумулясов №№ 4 и 5 (таблица Д.1). Положение точки измерений (г. Обнинск) отмечено черным кружком. Из рисунка Д.2 видно, что 10-12 сентября траектории проходят через район измерений. Часть траекторий, показанных на рисунке Д.3, проходит в районе измерений 13-14 сентября. Отсюда следует, что аэрозольные слои, наблюдавшиеся 11-15 сентября, по-видимому, связаны с переносом аэрозоля лесных пожаров в Северной Америке, происходивших 03-04 сентября 2017 г.

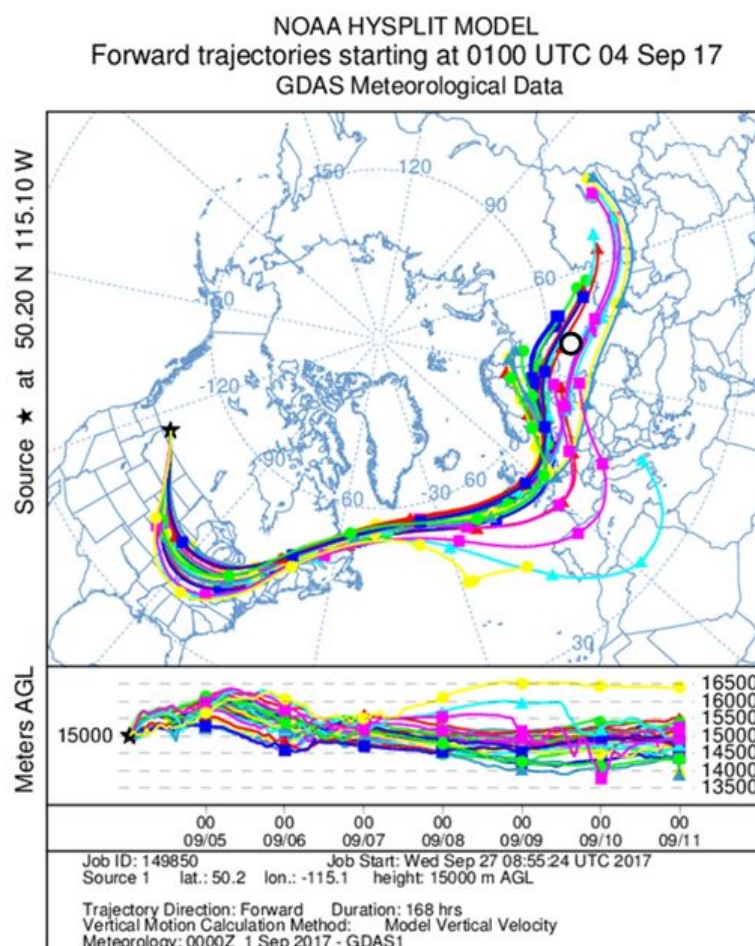


Рисунок Д.2 – Прямые траектории движения воздушных масс из области пирокумулясов (звездочка) с координатами 50,2N; 115,1W, (Британская Колумбия) к точке измерений (кружок)

NOAA HYSPLIT MODEL  
 Forward trajectories starting at 0000 UTC 04 Sep 17  
 GDAS Meteorological Data

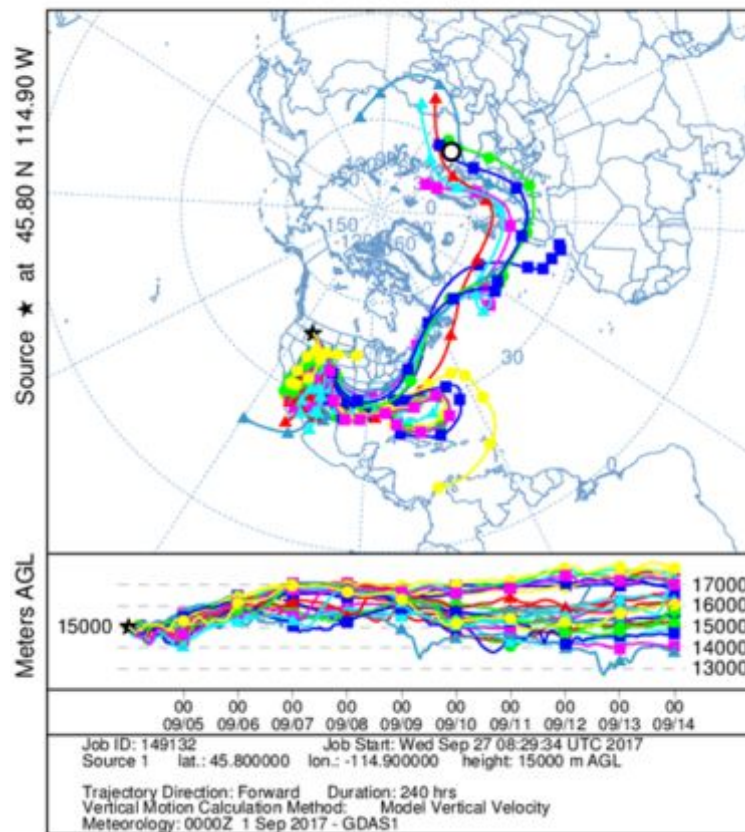


Рисунок Д.3 – Прямые траектории движения воздушных масс из области пирокумулятивов (звездочка) с координатами 45,8N; 114,9W, (Монтана) к точке измерений (кружок)

По результатам лидарных измерений можно сделать некоторые выводы по микрофизике частиц. Отношение коэффициентов обратного аэрозольного рассеяния на 355 и 532 нм меняется в указанных слоях в пределах от 1,5 до 2. Такие величины характерны для частиц субмикронного диапазона. Степень деполяризации меняется от 0,1 до 0,2. Она ниже, чем для кристаллических образований, но выше, чем для сферических. Если наблюдаемые слои действительно связаны с выносом дымовых частиц в стратосферу, то, скорее всего, они представляют собой конгломераты, состоящие из сажевых и органических частиц (смола), возможно с сернокислотной оболочкой.

Время седиментации таких частиц составляет месяцы, к тому же, частицы типа сажевых с большим коэффициентом поглощения могут быть подвержены эффекту левитации в результате явлений гравитофотофореза [3]

и вертикального ветра [4]. Повторное появление аэрозольного слоя 26.09.2017 г. на высоте 16,7 км указывает на возможное образование динамически устойчивого слоя такого рода поглощающих частиц. Фактически присутствие в той или иной степени выраженного слоя на уровне, близком к 16 км, отмечается почти во всех измерениях сентября 2017 г.

Особый случай представляет высотное распределение отношения обратного рассеяния  $R(532, h)$ , наблюдавшееся 21.09.2017 г. На графике (рисунок Д.1) виден непрерывный рост отношения обратного рассеяния величины  $R(532, h)-1$  от 0,1 до 0,5 в диапазоне высот от 18 до 12 км. Степень деполяризация для этого случая меньше 0,05, что характерно для сферического аэрозоля. Отношение коэффициентов обратного рассеяния возрастает с уменьшением высоты (с увеличением коэффициента обратного рассеяния) от 1 до 4 на уровне 12 км. Таким образом, и по характеру высотного распределения и по микрофизическим параметрам наблюдаемый 21.09.2017 г. аэрозоль относится к иному типу, нежели в предыдущие дни. Траекторный анализ подтверждает это наблюдение. На рисунке Д.4 показан ансамбль обратных траекторий, построенных для даты измерений 21.09.2017 г. Из рисунка Д.4 видно, что часть траекторий оканчивается 12.09.2017 г. в районе юго-востока США и Мексиканского залива. Как известно, в период до 11.09.2017 г. над п-овом Флорида бушевал тропический ураган Ирма (рисунок Д.5). Детальный анализ траекторий показывает, что примерно  $\frac{1}{4}$  часть траекторий из ансамбля, представленного на рисунке Д.4, находилась 12.09.2017 г. в 0 час UTC в области с координатами  $30-35^\circ$  с.ш.,  $80-90^\circ$  з.д. на высотах от 2 до 11 км. Это район, прилегающий к п-ову Флорида, где, по-видимому, имел место вынос аэрозоля и водяного пара мощными конвективными потоками тропического урагана в верхние слои субтропической тропосферы. Затем, как показывает ход траекторий, происходил перенос этих примесей вдоль изоэнтропических траекторий в нижнюю стратосферу умеренных широт.



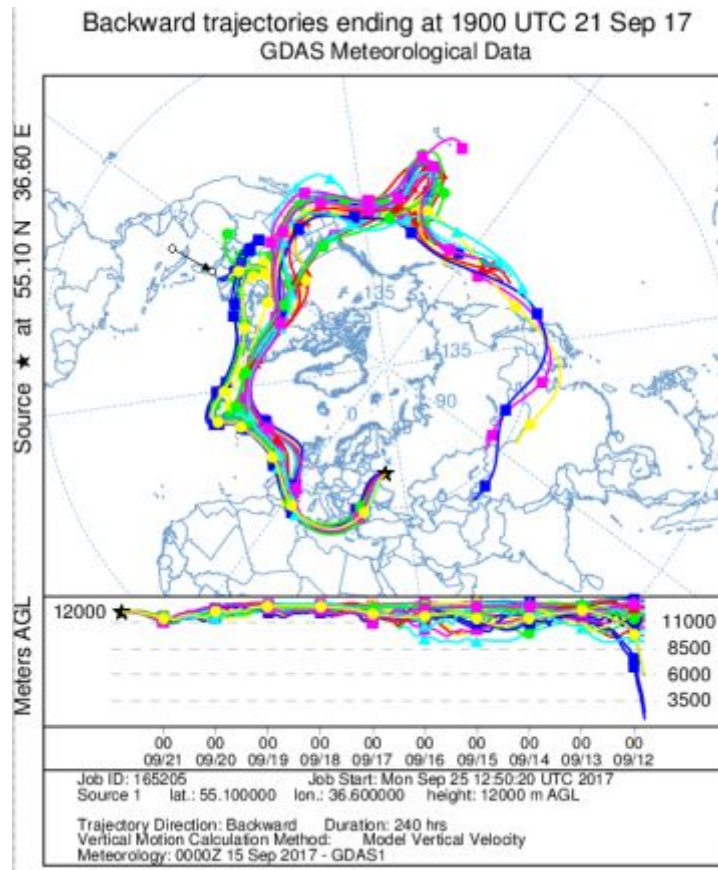


Рисунок Д.4 – Обратные траектории, начинающиеся 21.09.2017 г. с высоты 12 км над г. Обнинском. Стрелкой показана зона влияния тропического урагана Ирма

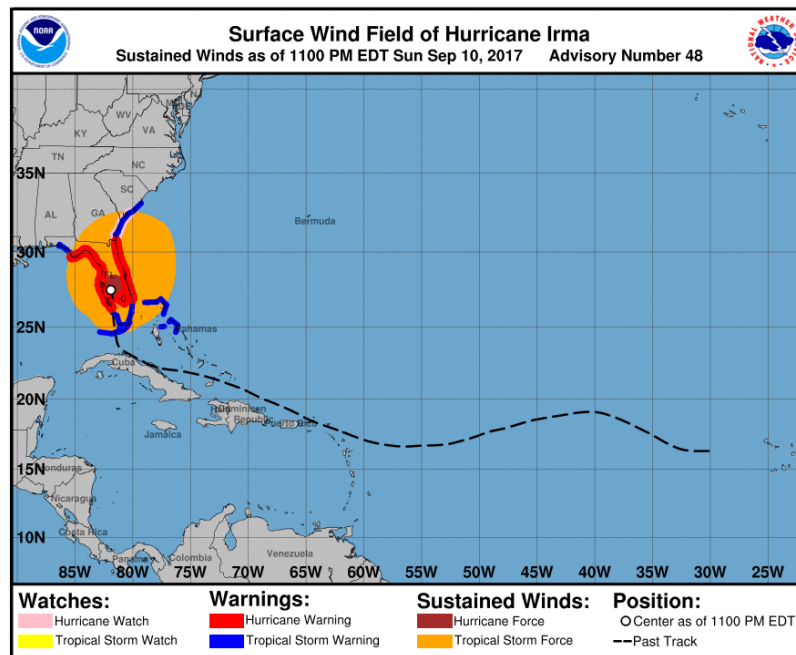


Рисунок Д.5 – Траектория движения урагана Ирма и выход его на сушу 10.09.2017 г. (рисунок с сайта NOAA)

## *Анализ ситуации 21 сентября 2017 года*

Ситуация, имевшая место 21.09.2017 г. представляет особый интерес ввиду возможного проникновения аэрозоля в тропосферу. Поэтому данные от 21.09.2017 г. были обработаны повторно, начиная с более низких высот, на которых рутинная автоматическая обработка обычно не проводится. На рисунке Д.6 показаны полученные высотные профили отношения обратного рассеяния и степень деполяризации.

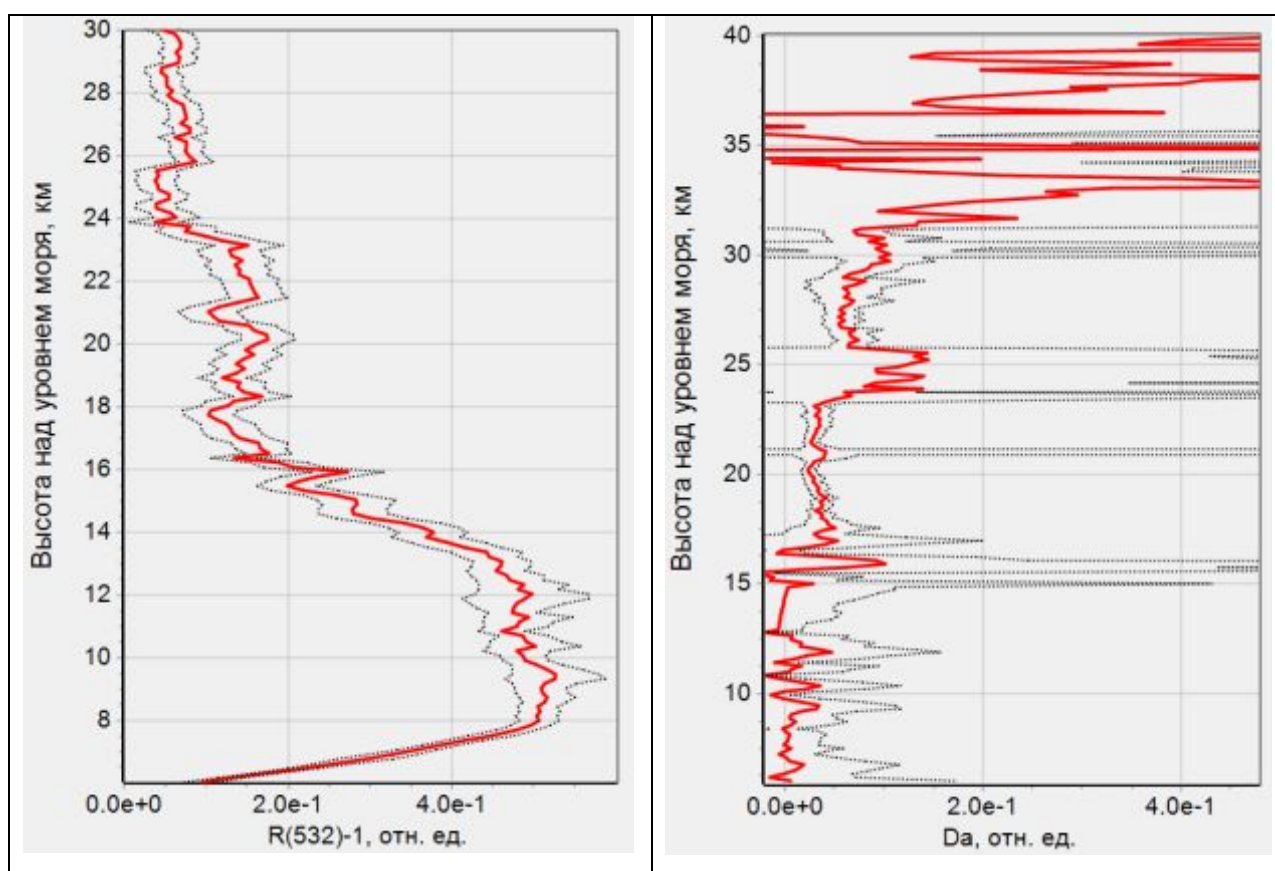


Рисунок Д.6 – Высотные профили отношения обратного рассеяния R(532) (слева) и степени деполяризации аэрозольного обратного рассеяния (справа) на 21.09.2017 г.

Завал величины R-1 ниже 8 км связан с отсечкой ближней зоны, обусловленной техническими характеристиками лидарного комплекса АК-3. По той же причине ниже 10 км величина R-1 может быть занижена. Тем не менее, из рисунка В.6 видно, что аэрозольный слой заходит в тропосферу

(тропопауза находится на уровне на 12 км, см. рисунок Д.7). Степень деполяризации остается низкой, т.е. наблюдаемый аэрозоль является сферическим.

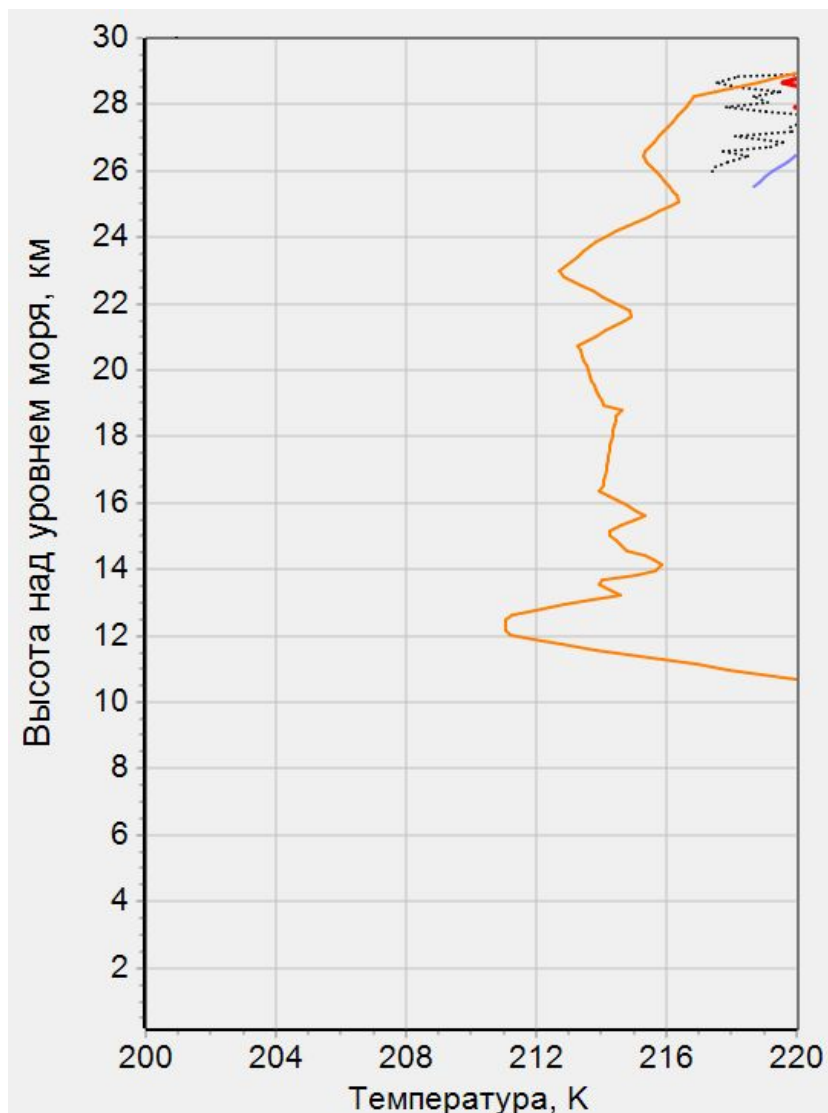
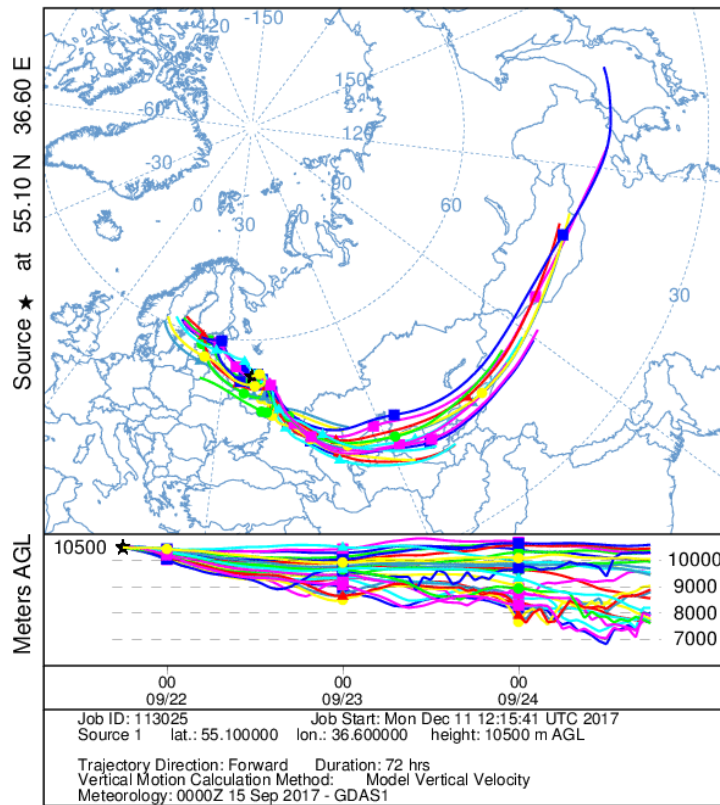


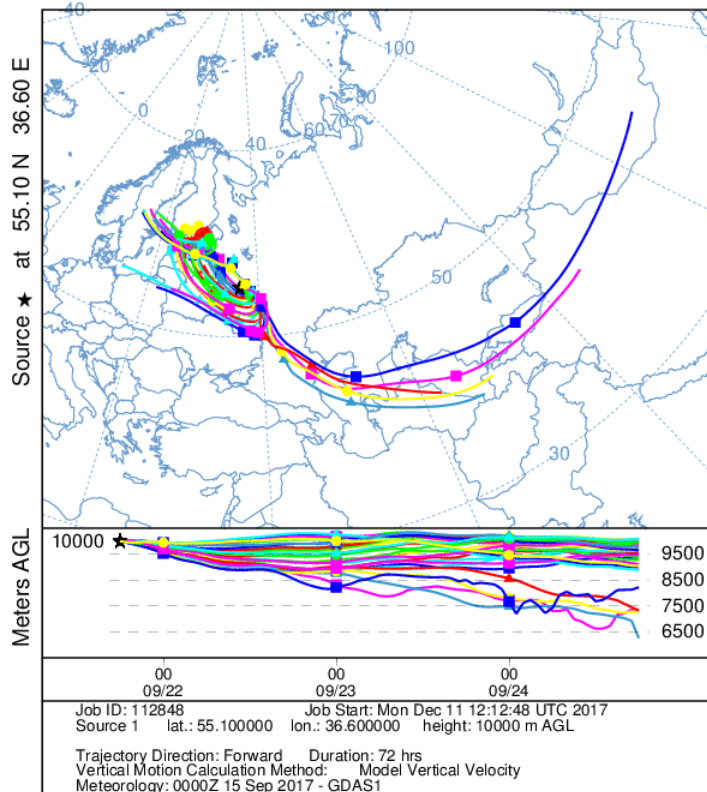
Рисунок Д.7 – Высотный профиль температуры над г. Обнинск 21.09.2017 г. по данным аэрологического зондирования

Дальнейшее распространение аэрозоля может быть оценено путем траекторного анализа в прямом направлении. Для построения траекторий использовалась программа HYSPLIT лаборатории NOAA. Начальное время 18 UTC 21.09.2017 г. Результаты для ряда начальных высот показаны на рисунке Д.8.

NOAA HYSPLIT MODEL  
 Forward trajectories starting at 1800 UTC 21 Sep 17  
 GDAS Meteorological Data



NOAA HYSPLIT MODEL  
 Forward trajectories starting at 1800 UTC 21 Sep 17  
 GDAS Meteorological Data



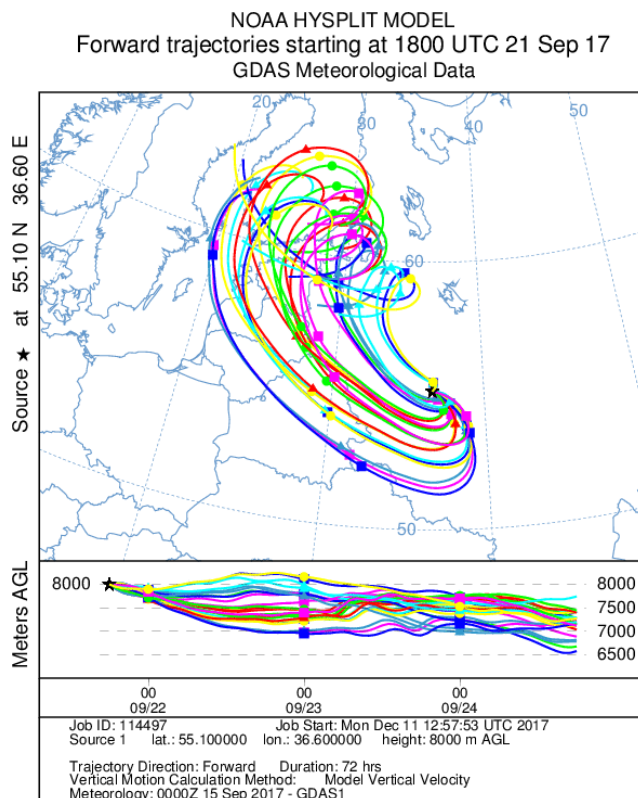
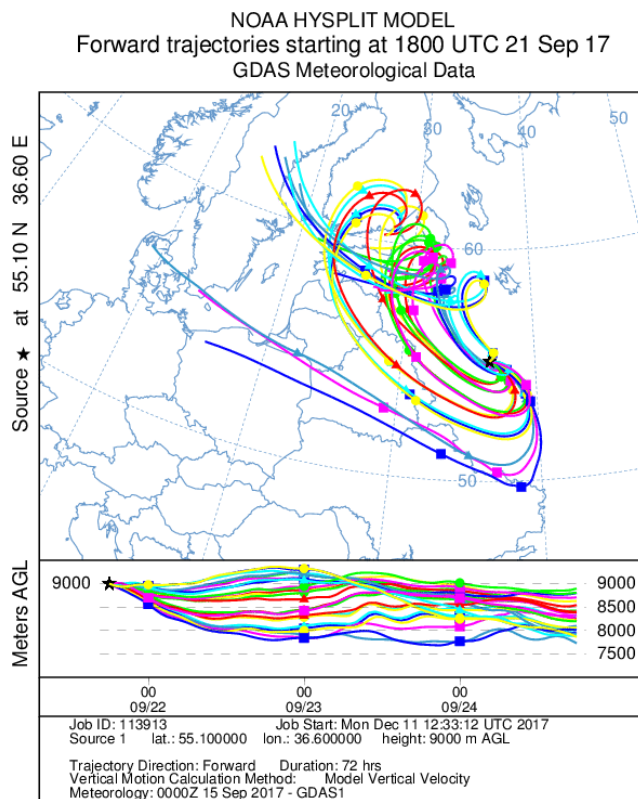


Рисунок Д.8 – Распространение аэрозольного слоя по данным траекторного анализа вперед с различных высот (стартовые высоты показаны в нижней части каждого графика). Начальное время 18 UTC 21.09.2017 г.

Из рисунка Д.8 видно, что общее движение воздуха направлено вниз, т.е. аэрозоль оседает в тропосфере. Направление движения по горизонтали – часть траекторий идет на северо-запад, другая – на юго-восток.

Возникает вопрос, откуда поступили воздушные массы на уровне верхней тропосферы над Обнинском. В добавление к обратным траекториям, показанным на рисунке Д.4, были построены обратные траектории с начальных высот 10 и 8 км (рисунок Д.9). Из рисунка Д.9 видно, что идет подъем траекторий со всех уровней тропосферы (начиная с 2 км) над территорией США. Часть траекторий проходит в зоне лесных пожаров, а также в районе п-ова Флорида. Этим объясняется наличие аэрозоля в стратосфере и верхней тропосфере над Обнинском.

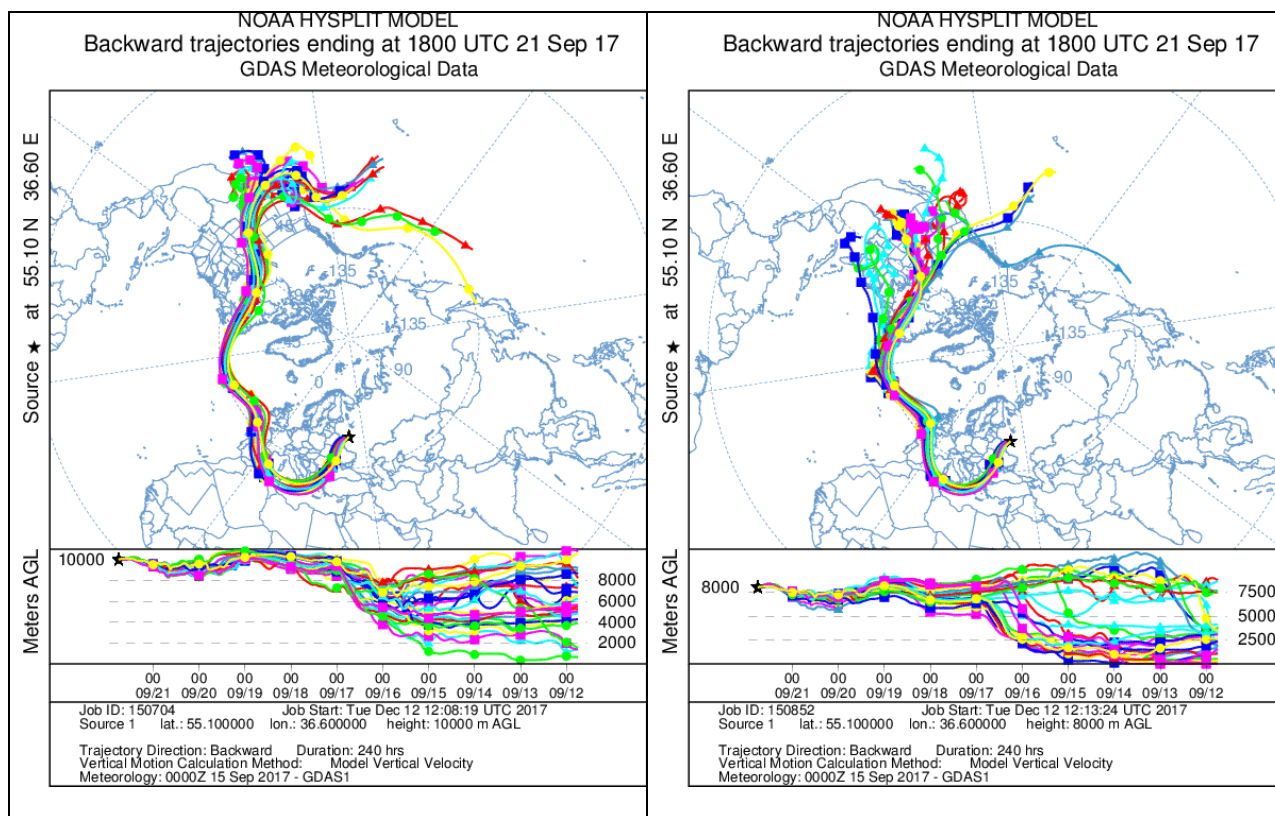


Рисунок Д.9 – Обратные траектории на дату 21.09.2017 г. с высот 10 км (слева) и 8 км (справа)

Над Обнинском метеоситуация была такой, что происходило оседание воздуха, сопровождаемое вихревыми движениями. Все это принесенный в стратосфере аэрозоль распределило в тропосфере.

### *Анализ метеоситуации над ЕТР и Уралом*

В Гидрометцентре России (ГМЦ России) был проведен анализ метеорологической ситуации над Европейской территорией России и Уралом в период от 23 сентября до 5 октября 2017 г. (см. Приложение Г). По результатам анализа сделан вывод о том, что в рассматриваемый период условий для стратосферно-тропосферного обмена не было, в том смысле, что стратосферный воздух нигде не достигал поверхности земли. Однако по данным лидарных измерений на Обнинской лидарной станции, приведенным выше, перенесенный из Северной Америки аэрозольный слой проник глубоко в тропосферу, как минимум на 4 км ниже тропопаузы. В справке ГМЦ России приводятся цифры максимального понижения тропопаузы до 6,5 км (см. Приложение Г, выводы, п. 3): «В пределах высотной фронтальной зоны возникали к западу и к югу от Урала, а также над югом Украины и центральной Европы неглубокие (до высот 6,5-7 км над уровнем моря) понижения тропопаузы». Если от 6,5 км отнять еще 4 км, то получится 2,5 км, т.е. уже пограничный слой атмосферы.

На рисунке Д.10 (воспроизведение рисунка Г.6 из справки ГМЦ России) показана карта высоты тропопаузы на 24 сентября. В справке ГМЦ России (см. раздел Г.3 Приложения Г) говорится: «Имеется также на рисунке Г.6 неглубокая воронка к востоку от северной части Каспийского моря, на рисунке Г.7 она не выражена». Почему-то на аналогичную область понижения тропопаузы к северо-западу от Челябинска (назовем ее также «воронка») к северо-западу от Челябинска в справке ГМЦ России не указывается. Черная точка вблизи этой воронки (в справке ГМЦ не указано, что она обозначает) находится очень близко от Кыштыма (55,7° с.ш., 60,5° в.ш.). Как раз в Кыштыме 23-24 сентября были получены первые

измерения высокой концентрации рутения-106 (таблица 1.1) – 50 Бк/м<sup>2</sup> в сутки, причем это самые высокие уровни за все время измерений. Такое совпадение вряд ли может быть случайным. Оно указывает на возможность проникновения рутения-106 из верхней тропосферы с дальнейшим распространением в пограничном слое атмосферы.

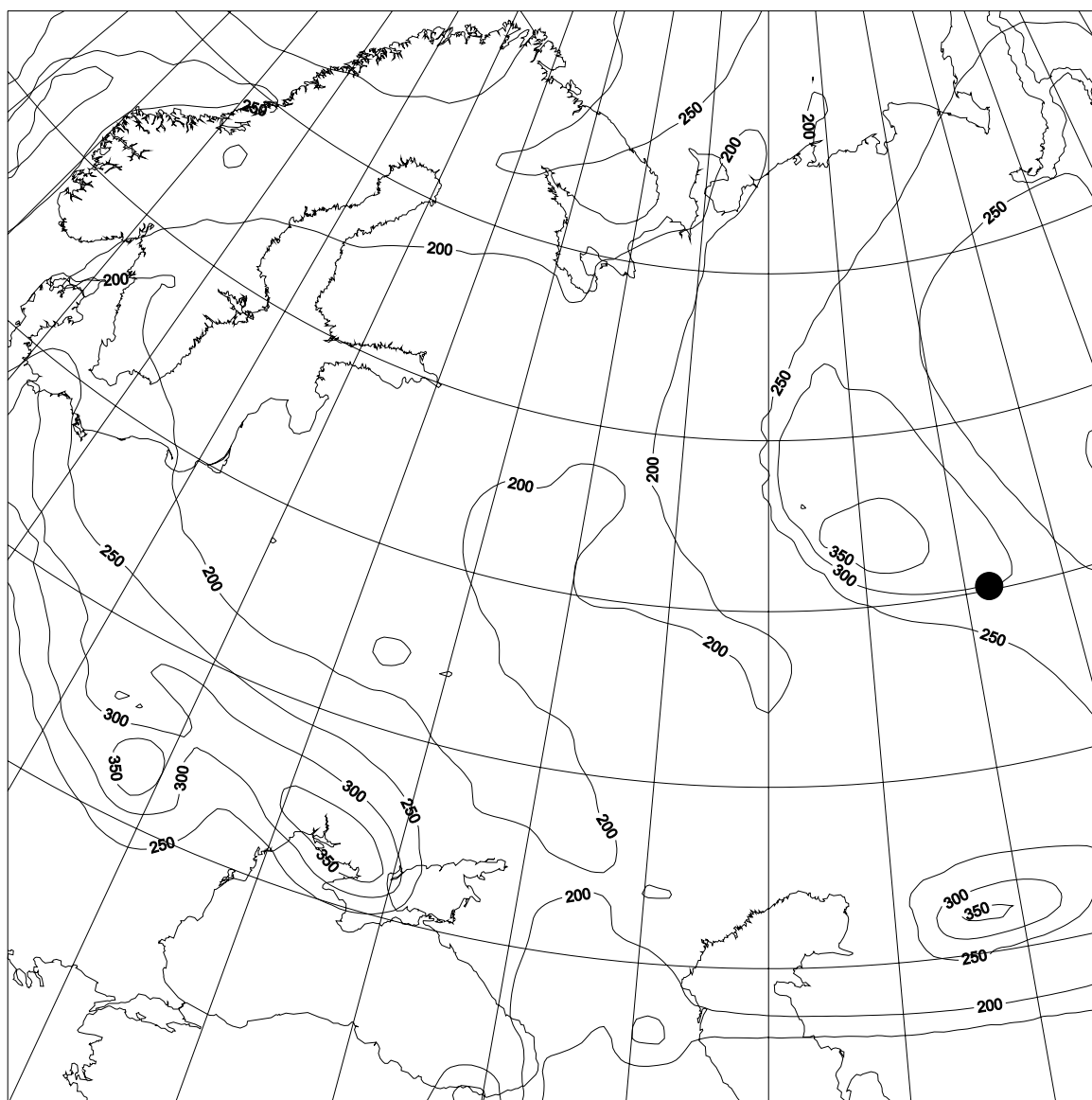


Рисунок Д.10 – Карта высоты тропопаузы на 24 сентября 2017 г. над ЕТР и Уралом (воспроизведена из справки ГМЦ)



### *Данные измерений на других лидарных станциях в августе-октябре 2017 г.*

Были запрошены данные лидарных измерений в пунктах лидарного зондирования Институтов РАН, включая Институт оптики атмосферы (г. Томск), Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДО РАН (с. Паратунка, Камчатка), Институт космофизических исследований и аэронауки СО РАН (г. Якутск). Также был установлен рабочий контакт с исследователями Института физики Белорусской академии наук (г. Минск).

Согласно полученным ответам по погодным условиям в третьей декаде сентября измерения в Минске, Якутске и Томске не проводились. Из Томска поступили данные измерений в ближайшие даты. На Камчатке (с. Паратунка) в третьей декаде сентября проводились только высотные измерения. Имеются также результаты единичных измерений на лидарных станциях Росгидромета в конце августа в Новосибирске за 25.08.2017 г. и в начале октября на Камчатке.

#### Измерения на лидарной сети Росгидромета

Высотный профиль отношения обратного рассеяния, полученный в Новосибирске 25.08.2017 г., показан на рисунке Д.11. На рисунке Д.11 видно наличие достаточно мощного аэрозольного слоя в стратосфере на высоте около 14 км. Обратный траекторный анализ показал прохождение траекторий над Волгоградской областью, где в этот период наблюдались сильные природные пожары. С определенной вероятностью можно утверждать о проникновении аэрозоля от природных пожаров в Волгоградской области с последующим его переносом на расстояния в тысячи км.

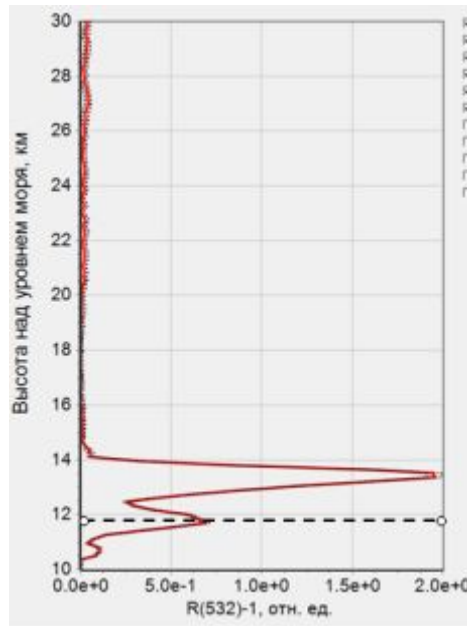


Рисунок Д.11 – Аэрозольный слой в стратосфере над г. Новосибирск, наблюдавшийся 25.08.2017 г. Положение тропопаузы отмечено штриховой линией

В первой половине октября лидарные измерения были проведены в г. Петропавловске-Камчатском. Результаты показаны на рисунке Д.12, где видно наличие интенсивных аэрозольных слоев в несколько раз превышающих фоновый уровень в диапазоне высот от 12 до 18 км.

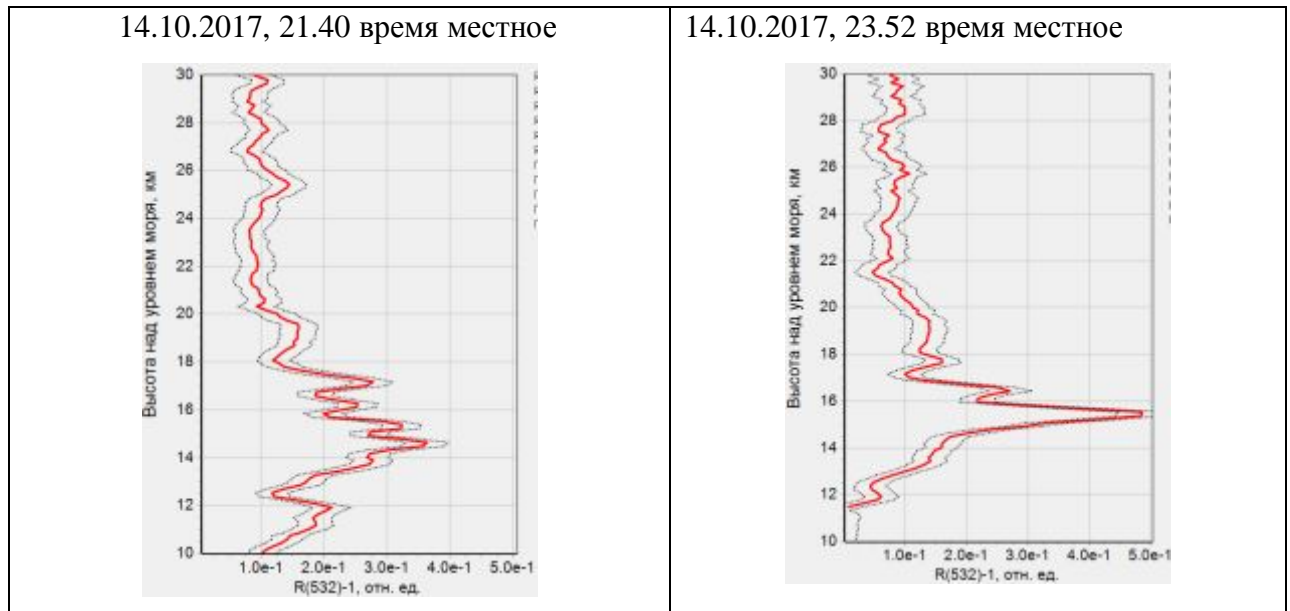


Рисунок Д.12 – Аэрозольные слои, наблюдавшиеся над г. Петропавловск-Камчатский в начале октября 2017 г.

### Данные измерений в г. Томск

По данным, предоставленным Институтом оптики атмосферы СО РАН, значительное аэрозольное заполнение стратосферы, чаще в виде отдельных интенсивных слоев, наблюдалось в августе-октябре над Томском (рисунок Д.13).

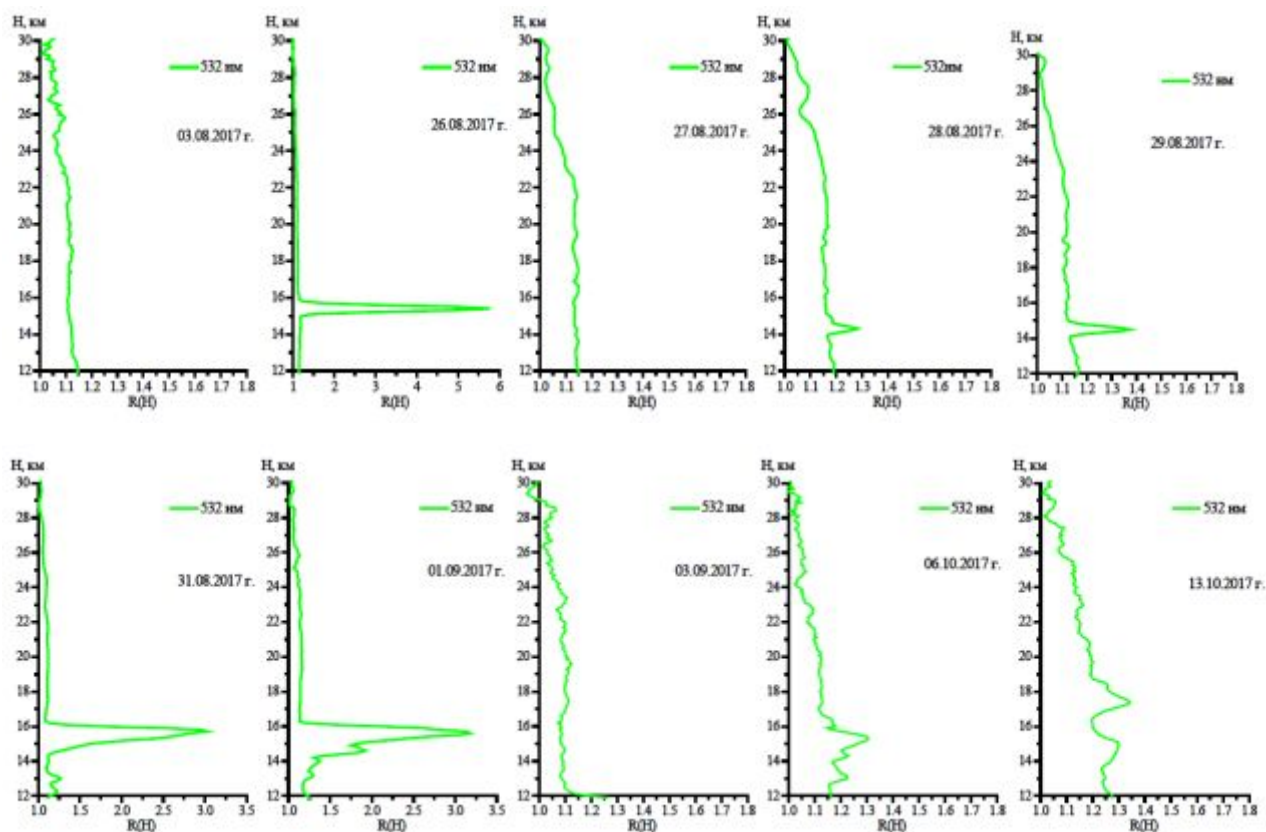


Рисунок Д.13 – Аэрозольные слои в стратосфере на г. Томск в августе-октябре 2017 г. (данные Института оптики атмосферы)

### Аэрозольные слои в нижней мезосфере в сентябре 2017 г.

26 сентября над г. Обнинск наблюдался аэрозольный слой в нижней мезосфере на высоте около 67 км (рисунок Д.14). Величина отношения аэрозольного обратного аэрозольного рассеяния к релейскому обратному рассеянию для данного слоя составляла  $\sim 0,4$  (по сравнению с фоновым уровнем 0,02-0,03), что является достаточно редким событием. Следует отметить, что 21 сентября над Нидерландами произошло падение крупного болида, двигавшегося, со скоростью 20-30 км/с в интервале высот от 95 км до 53 км [5]. Скорость движения болида исключает его орбитальное

происхождение. Не исключено, что слой, наблюдавшийся в Обнинске, представлял собой аэрозольный след от данного болида.

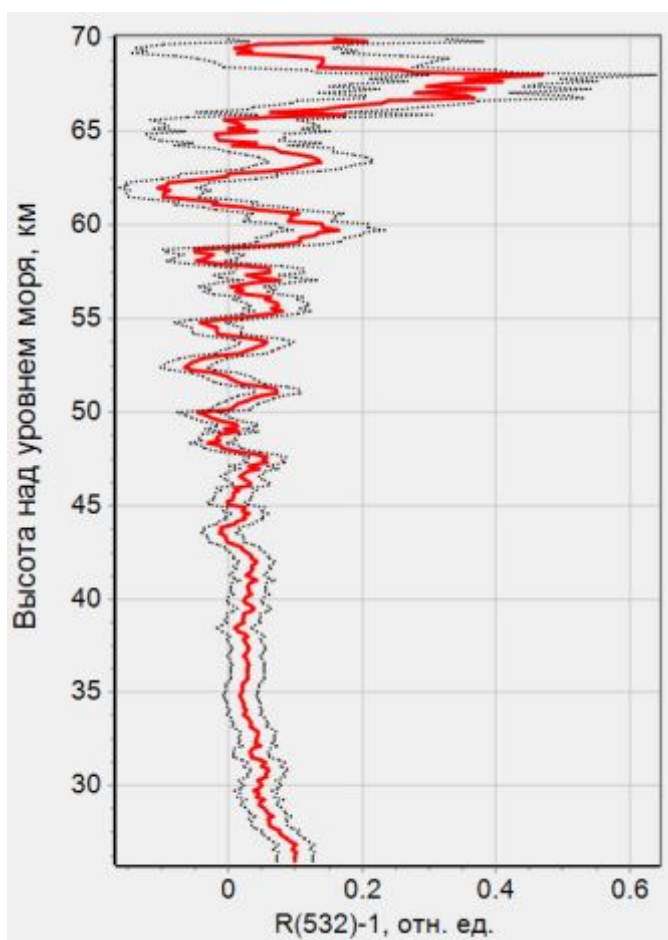


Рисунок Д.14 – Высотный профиль отношения обратного рассеяния для 26.09.2017 г. над г. Обнинск

23 и 24 сентября по данным Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДО РАН над г. Петропавловск-Камчатский также наблюдалось присутствие аэрозоля в верхней стратосфере - нижней мезосфере в (рисунок Д.15). При этом по отношению к релеевскому рассеянию содержание аэрозоля непрерывно нарастало с 30 до 70 км. Это говорит о высотном источнике аэрозоля – падении метеорита, либо космического аппарата.

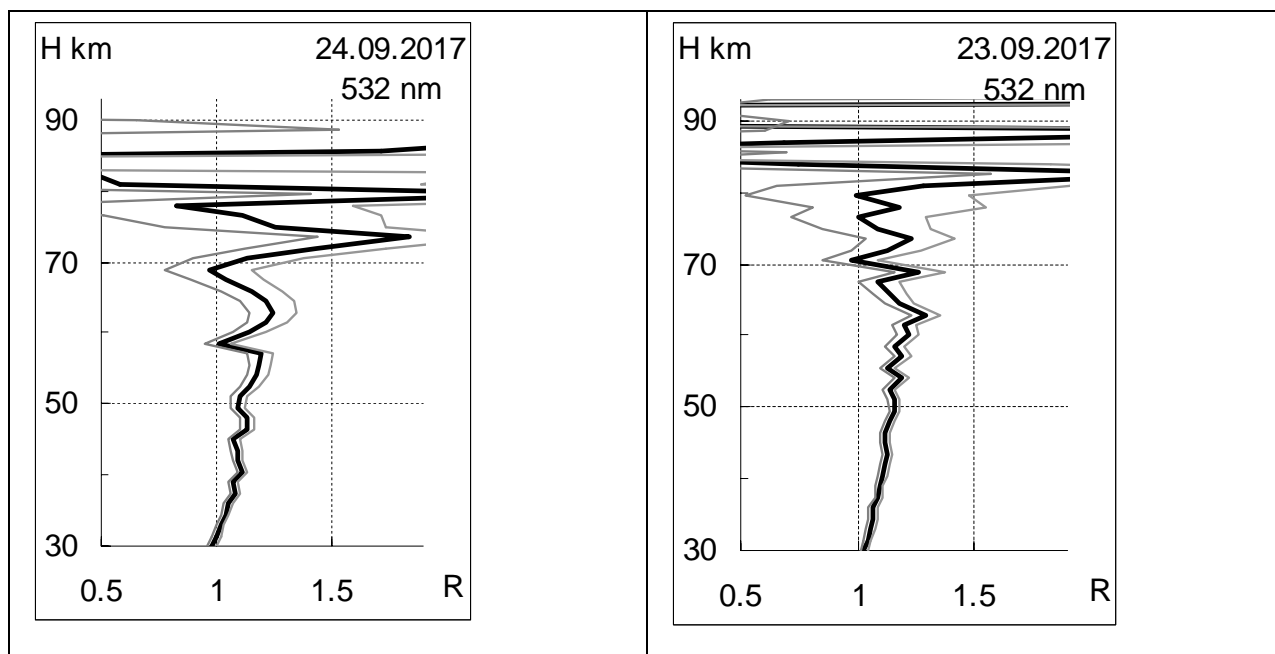


Рисунок Д.15 – Аэрозольные слои в мезосфере над г. Петропавловск-Камчатский

### Заключение

По данным лидарного зондирования в сентябре 2017 г. (11, 12, 15, 18, 19, и 26 сентября) над г. Обнинск на высотах от 12 до 16 км наблюдались аэрозольные слои большой плотности, в 3-5 раз превышающие фоновый уровень по обратному рассеянию. Судя по степени деполяризации (от 0,1 до 0,2) в составе аэрозоля присутствовала заметная фракция несферических частиц. Проведенный траекторный анализ показал, что причиной появления указанных слоев является трансконтинентальный перенос аэрозоля лесных пожаров из районов образования пирокумулясов в Северной Америке.

В одном из случаев (21 сентября) наблюдался аэрозоль сферического типа, заполнявший всю стратосферу от 16 км до 12 км и проникший в тропосферу до уровня, по крайней мере, 8 км. Траекторный анализ показал, что в этом случае воздушные потоки пришли с территории США, и частично, с юго-востока США (окрестности п-ова Флорида, где произошел при выход на сушу тропического урагана Ирма). При этом обратные траектории показывают подъем воздуха со всех уровней тропосферы (начиная с 2 км)

над территорией США. Тем самым объясняется аэрозольное заполнение стратосферы и верхней тропосферы над Обнинском. Рассмотренная ситуация имела ограниченный во времени характер (только 21 сентября) – по данным лидарного зондирования ни 19 сентября, ни 22 сентября сплошного аэрозольного заполнения верхней тропосферы – нижней стратосферы не наблюдалось.

После 21 сентября, как показывает траекторный анализ, наблюдались нисходящие и вихревые движения воздуха. В горизонтальном направлении происходил перенос в северо-западном и юго-восточном направлениях от г. Обнинска. В результате принесенный из Северной Америки аэрозоль распределился в тропосфере.

Результаты лидарного зондирования в гг. Томск (ИОА), Новосибирск и Петропавловск-Камчатский (Росгидромет) показывают значительное аэрозольное наполнение стратосферы в августе-октябре 2017 г. и над другими районами РФ.

Поскольку в 2017 г. не происходило значительных вулканических извержений взрывного типа с проникновением продуктов извержений в стратосферу, то источником повсеместного появления аэрозоля в стратосфере, по-видимому, являются природные пожары, происходившие в 2017 г. в Северной Америке и РФ (Волгоградская обл, районы Сибири и Дальнего Востока), либо ураганы в тропической зоне Атлантики. В условиях чрезвычайных ситуаций, вызванных указанными природными явлениями, имеется определенная вероятность нарушения условий хранения радиоактивных материалов, в частности рутения-106, и его неконтролируемого проникновения в атмосферу.

Определенным подтверждением этой гипотезы служат данные анализа Гидрометцентра России. По данным ГМЦ России в отдельных районах Европейской территории России и Урала наблюдалось понижение высоты тропопаузы до уровня 6,5-8 км. При этом аэрозольный слой мог опуститься еще на четыре километра ниже. В частности, такое понижение наблюдалось

вблизи г. Кыштым 24 сентября 2017 г. В это время в пункте Кыштым впервые зафиксирована высокая концентрация рутения-106. Данное совпадение указывает на высокую вероятность проникновения рутения-106 из верхней тропосферы с дальнейшим распространением в пограничном слое атмосферы.

В третьей декаде сентября 2017 г. повышенное содержание аэрозоля наблюдалось и в верхней стратосфере-нижней мезосфере. По данным лидарного зондирования в Обнинске, 26 сентября 2017 г. наблюдался слой повышенного аэрозольного рассеяния в нижней мезосфере на высоте около 67 км, а 23 и 24 сентября 2017 г. отмечалось значительное присутствие аэрозоля на высотах от 50 до 70 км над Камчаткой (данные Института космических исследований и распространения радиоволн ДО РАН). Поэтому нельзя полностью исключить и гипотезу падения (сгорание в атмосфере) космического аппарата (искусственного спутника Земли) на борту которого находился источник рутения-106.

### **Выводы и предложения**

Более полную информацию по аэрозольному содержанию в нижней стратосфере в период наблюдения в атмосфере рутения-106 можно было бы получить по данным измерений на семи лидарных станциях Росгидромета, развернутых на территории РФ, и в частности, в Санкт-Петербурге, Знаменске и Ардоне в Европейской части РФ. К сожалению, регулярные измерения на лидарной сети сейчас не проводятся из-за отсутствия финансирования.

Опыт работы по исследованию причин появления рутения-106 в атмосфере показывает целесообразность поддержки и развития сети лидарного зондирования Росгидромета, созданной в рамках федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на период 2008-2015 годы».

По итогам проведенной работы предлагается.

1. С целью оперативного выявления причин и идентификации источников техногенных аварий и природных катастроф, сопровождающихся аэрозольными выбросами и изменениями термического режима атмосферы, рассмотреть возможность обеспечения регулярной работы сети лидарного зондирования Росгидромета в качестве одного из блоков системы мониторинга состояния окружающей среды.

2. Оказать поддержку проекту АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» и ФГБУ «НПО «Тайфун» по разработке технологии выявления источников радиоактивного загрязнения на основе регистрации спектральной плотности потоков оптического излучения атмосферы естественного и искусственного происхождения.

3. С целью повышения пространственно-временного разрешения сети лидарного зондирования термического режима верхней тропосферы - нижней стратосферы, измерения содержания аэрозоля, озона целесообразно развернуть на территории РФ не менее 10 лидарных комплексов АК-3.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы. Москва. Физматлит. 2011. – 452 с.

2 <http://pyroc.b.ssec.wisc.edu/>

3 А.А. Cheremisin, Yu.V. Vassilyev, Н. Horvath. Gravito-photophoresis and aerosol stratification in the atmosphere. //Aerosol Science. 2005. V.36 P.1277–1299.

4 Грязин В.И, Береснев С.А. О вертикальном движении фракталоподобных частиц в атмосфере. // Оптика атмосферы и океана. 2011. т.24. № 6. с.506-509.

5 <https://www.imo.net/bright-fireball-over-the-netherlands/>