



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Радиолокационный мониторинг облачности
в г. Санкт-Петербурге»

Исполнитель Новик Максим Антонович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Симакина Татьяна Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
И.о. заведующего кафедрой**

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«04» июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

Сокращения	2
Введение	4
Глава 1. Радиолокационный анализ мезомасштабных конвективных систем	6
1.1 МРЛ - как средство мониторинга гроз.....	6
1.2 АМРК «Метеоячейка», ее возможности.....	9
1.3 Типы мезомасштабных систем на радиолокационном обзоре	11
Глава 2. Обзор мезомасштабных конвективных систем в Санкт-Петербурге.	16
2.1 Грозовая активность в Санкт-Петербурге.....	16
2.2 Обзор мезомасштабных систем за 2013 год.....	18
2.3 Обзор мезомасштабных систем за 2014 год.....	30
2.4. Обзор мезомасштабных систем за 2015 год.....	42
2.5. Обзор мезомасштабных систем за 2016 год.....	54
2.6. Обзор мезомасштабных систем за 2017 год.....	66
2.7. Анализ гроз каждой мезомасштабной системы	79
Глава 3. Анализ временной динамики радиолокационных характеристик грозовых очагов.....	83
3.1 Временная динамика радиолокационной отражаемости на высотах.....	83
Заключение.....	88
Список литературы	89

Сокращения

МРЛ – метеорологический радиолокатор

АМРК – автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс

ДМРЛ – доплеровский метеорологический радиолокатор

РЛС – радиолокационная станция

ДДС – дугообразная долгоживущая система

МКС – мезомасштабная конвективная система

LEWP – Line echo wave pattern

Введение

Радар или радиолокационная метеорология – это прикладная отрасль метеорологии, использующая радиолокационные технологии для получения информации о состоянии атмосферы Земли и связанных с ней природных явлениях.

Радиолокационные методы наблюдения за окружающей средой основаны на регистрации радиосигналов, отраженных от атмосферных неоднородностей (туман, осадки, скопления аэрозолей, зоны турбулентности и др.). Анализируя параметры полученных радиолокационных данных, можно быстро оценить координаты, протяженность и некоторые физические характеристики объектов в атмосфере.

В настоящее время для радиолокационного мониторинга атмосферы активно используются метеорологические радары и системы пеленгации гроз. При обработке данных, полученных из МРЛ, чтобы сделать прогноз о грозах и идентифицировать грозы, особое внимание уделяют критериям грозовой опасности. Активно ведутся исследования по выявлению новых параметров, указывающих на вероятность возникновения гроз.

Мезомасштабная конвективная система (МКС) представляет собой совокупность гроз, которая организуется в масштабах, превышающих отдельные грозы, но меньших, чем внетропические циклоны, и обычно сохраняется в течение нескольких часов или более.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование и мониторинг облачности, связанной с грозовой активностью, с помощью АМРК типа «Метеоячейка», и анализ поведения различных характеристик в догрозных и грозных условиях.

Нашей задачей является рассмотреть эти мезомасштабные конвективные системы над Санкт-Петербургом и Ленинградской областью и определить тип каждой системы. Для этого мы изучим, как видны на локационном обзоре все типы систем по структуре и по динамике и сформируем архив данных за 5 лет.

Работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка используемых источников. В первой главе рассмотрены грозовая активность в городе Санкт-Петербурге, МРЛ и АМРК «Метеоячейка», как наблюдение за грозовой активностью и виды мезомасштабных систем на радиолокационном обзоре. Вторая глава включает в себя рассмотрение всех типов мезомасштабных систем над Санкт-Петербургом в периоде с 2013 по 2017 годы на основе локатора, стоящего в Пулково и анализ на основе всех мезомасштабных систем, зафиксированных в этот период. Третья глава содержит анализ зависимости высоты радиоэха, отражаемости на различных высотах, интенсивности осадков и площади грозового очага от времени срока грозы определённого типа мезомасштабной системы.

Глава 1. Радиолокационный анализ мезомасштабных конвективных систем

1.1 МРЛ - как средство мониторинга гроз

Метеорологическая радиолокационная станция — специализированная РЛС для определения координат выпадения осадков, направления их движения и типа (дождь, снег, град).

Они предназначены для:

- определения скорости и направления перемещения зон радиоэхо кучево-дождевых облаков и зон радиоэхо осадков обложного характера (из N s);
- определения верхней границы радиоэхо всех обнаруживаемых облаков и нижней границы радиоэхо облаков верхнего и среднего ярусов;
- определения тенденции изменения радиолокационных характеристик облачного поля (облачной системы);
- определения эволюции кучево-дождевых облаков; — определения высот нулевой изотермы при наличии слоисто-дождевых облаков;
- оценки мгновенной максимальной интенсивности выпадающих осадков в радиусе до 90 км от МРЛ;
- определения площадей, занятых радиоэхо осадков.

В зависимости от полученной картинке на дисплее радара можно выявлять некоторые особенности мощных конвективных штормов.

Отраженный сигнал измеряется в коэффициентах dbZ (безразмерная логарифмическая величина сигнала). Наиболее современными локаторами являются доплеровские (ДМРЛ), принцип действия которых основан на эффекте Доплера (изменение параметров сигнала вследствие смещения объекта). Такие радары позволяют не только анализировать облачность и её структуру, но также определять скорость и направление смещения воздушных масс, облаков и отдельных элементов в самом облаке.

Метод распознавания зон грозовой активности с использованием МРЛ основан на критериях грозовой опасности, полученных в результате

экспериментов, и методе прогнозирования гроз, согласно которому одним из основных условий возникновения гроз считается достижение кучево-дождевых облаков на уровне, где температура составит $-20...-25$ °С . Для признания опасного явления (грозы) существуют однозначные и сложные критерии.

К однозначным критериям относят следующие параметры:

- максимальная высота радиоэха явления
- значения радиолокационной отражаемости Z на двух уровнях: высоте изотерм 0 и -22 °С ($\lg Z_2$ и $\lg Z_3$ соответственно), определяющие связь отражаемости облака с количеством осадков, а также с восходящими потоками облака;

В процессе своего развития конвективное облако достигает стадии, на которой начинается оледенение его вершины. В этот момент в облаке создаются условия для начала интенсивного разделения электрических зарядов, при этом облако продолжает развиваться вертикально и превращается в мощный кучево-дождевой поток. Считается, что развитие облака по вертикали происходит до уровня тропопаузы $H_{\text{троп}}$. Однако в летние месяцы могут быть случаи, когда восходящие потоки настолько интенсивны, что они " прорывают " тропопаузу и выносят водяной пар за ее пределы. Исходя из этого, можно предположить, что облако, достигающее и превышающее уровень тропопаузы, также может служить критерием для распознавания мощных кучево-дождевых облаков и указывать на наличие опасных явлений в облаке. Интенсивность явления напрямую зависит от мощности переохлажденной части облака ΔH .

$$\Delta H_{\text{троп}} = H_{\text{max}} - H_{\text{троп}}$$

Эффективность современных метеорологических радаров определяется как их техническими характеристиками, так и математическим программным обеспечением, которое используется для обработки, анализа и представления результатов радиолокационных наблюдений в удобном для потребителя виде.

Большой объем метеорологической информации может быть извлечен из радиолокационного сигнала сантиметрового диапазона, отраженного от облаков и осадков. Мощность сигналов, отраженных от метеорных образований на фиксированном расстоянии, пропорциональна отражательной способности метеорных образований Z . Величина Z реагирует на увеличение размера отражающих частиц гидрометеоров и их концентрации, которые, в свою очередь, увеличиваются по мере увеличения степени опасности явления (ливни, грозы, град). Эффективность использования метеорологических радаров в оперативной практике значительно повышается за счет использования доплеровских радаров (ДМРЛ). Когерентные метеорологические радары дополнительно (по сравнению с некогерентными радарам) идентифицируют следующие погодные явления: зоны сильного ветра, мезоцикл (торнадо), фронты порывов, области сдвига ветра, зоны повышенной турбулентности, микро-шквалы. Средняя скорость межимпульсного изменения фазы отраженных от метеообразований сигналов пропорциональна доплеровской частоте сигнала и через нее – средней радиальной скорости метеообразований. Ширина энергетического спектра отражений пропорциональна дисперсии скоростей метеообразования.

Летом 2006 года произошло важное событие в истории российских метеорологических радиолокационных наблюдений: в московском аэропорту Пулково. В Санкт-Петербурге был установлен и введен в эксплуатацию первый в нашей стране доплеровский метеорологический радар. Им стал автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК) "Метеометеоячейка", который серийно выпускается в Германии ДМРЛ "Метеор 500С", работающий с программным обеспечением рабочего места метеоролога АМРК "Метеоячейка", серийно выпускаемого Институтом радиолокационной метеорологии.

1.2 АМРК «Метеоячейка», ее возможности

Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс (АМРК) «Метеоячейка» предназначен для автоматизации метеорологического радиолокатора МРЛ-5 с целью обеспечения аэродромов и автоматизированных систем управления воздушным движением информацией об облачности и связанных с ней опасных явлениях погоды (сильные ливни, грозы, град, шквал) с высокой надежностью и оперативностью в наиболее удобном для потребителя виде. АМРК имеет повышенную помехозащищенность и позволяет эксплуатировать МРЛ в условиях аэропорта при дистанционном режиме управления с использованием обычных кроссовых, линий связи.

Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс «Метеоячейка» состоит из двухволнового радиолокатора МРЛ-5 и средств автоматизации получения, обработки и передачи радиолокационной информации.

Возможности: 1. АМРК "Метеоячейка" обеспечивает пространственное разрешение 128 x 128 элементов по горизонтали и 15 слоев по вертикали. Размер элемента пространственного разрешения составляет от 1 до 4 км по горизонтали и от 0,5 до 1,5 км по вертикали. Разрешение в стандартном режиме штормового предупреждения составляет 100 x 100 элементов по горизонтали с размером элемента 4 x 4 км и 11 слоев по вертикали с толщиной слоя 1 км.

2. Согласно техническим характеристикам АМРК, стандартный режим работы АМРК является автоматическим с интервалом от 10 до 180 минут. 3. Интенсивность осадков на АМРК измеряется в каждый период наблюдений и отображается потребителям по элементам площади 4 x 4 км.

3. При наличии особых требований заказчика градации корректируются в соответствии с этими требованиями.

4. Предусмотрен расчет количества осадков за любой выбранный интервал времени. 15 градаций количества осадков (мм) заданы в следующих

интервалах: <0,5; 0,6 — 1,0; 1,1— 2,0; 2,1— 3,0; 3,1— 5,0; 5,1— 10,0; 10,1— 20,0; 20,1—30,0; 30,1—40,0; 40,1—50,0; 50,1— 60,0; 60,1—70,0; 70,1— 100,0; 100,1— 150,0; >150,0.

Программное обеспечение предусматривает возможность использования любой градации, как по интенсивности, так и по количеству осадков, в соответствии с требованиями потребителей информации АМРК. Количество осадков рассчитывается для любого заданного интервала времени вышеуказанных классов для элементов площадью 4 x 4 км , например 1, 3, 6, 12 ч и т.д. Функция расчета количества осадков предусмотрена на центральной нервной системе АМРК "Метеоячейка", а значит и на рабочих станциях (рис. 1.3)1.

5. Максимум определяется для каждой ячейки, представляющей высоту верхней границы радиоэхо с разрешением 250 м в диапазоне 0-20 000 м.

6. На каждом рабочем месте АМРК "Метеоячейка" пользователь имеет возможность получить распределение отражательной способности РЛС по 11 горизонтальным участкам с шагом 1 км для каждой ячейки размером 4 x 4 км для территории размером 400 x 400 км.

7. Погодные явления и формы облаков определяются на АМРК "Метеоэлемент" в соответствии с заданными алгоритмами распознавания. Алгоритмы настраиваются отдельно для каждого пункта установки по результатам сопоставления радиолокационной и наземной информации. Основная настройка алгоритмов выполняется в течение первого года эксплуатации. В процессе дальнейшей эксплуатации ежегодно оценивается качество распознавания и при необходимости выполняется корректировка алгоритмов. Контроль оправдываемости распознавания опасных явлений погоды выполняет инженер-радиометеоролог АМРК путем сопоставления радиолокационной и наземной информации. В результате применения алгоритмов распознавания информация об опасных явлениях и формах облачности отображается на экране ПЭВМ в виде карты метеоявлений (рис. 1.4). Метеоявления отображаются по 16 градациям и зависят от сезона

наблюдений и вида осадков. Например, для летнего сезона наблюдений и жидких осадков используются следующие градации метеоявлений: 1) облачность верхнего и среднего яруса С—А, 2) слоистообразная облачность, 3) осадки слабые, 4) осадки умеренные, 5) осадки сильные, 6) кучевая облачность, 7) ливень слабый, 8) ливень умеренный, 9) ливень сильный, 10) гроза с вероятностью 30—70 %, 11) гроза с вероятностью до 90 %, 12) гроза с вероятностью более 90 %, 13) град слабый, 14) град умеренный, 15) град сильный, 16) отсутствие радиоэха. При выводе карты метеоявлений выделяются зоны шквалистого усиления ветра со скоростью более 15 м/с.

8. Вся информация АМРК «Метеоячейка» может быть использована для проведения контроля за активными воздействиями в районе установки МРЛ-5. Такой режим работы применяется с 1996 г. противоградовой службой Республики Молдова на АМРК в Кишиневе.

9. АМРК «Метеоячейка» обеспечивает дистанционное управление работой МРЛ с использованием аэродромных кроссовых линий связи при удалении центральной системы от МРЛ на любое необходимое расстояние.

1.3 Типы мезомасштабных систем на радиолокационном обзоре

В зависимости от полученной картинке на дисплее радара можно выявлять некоторые особенности мощных конвективных штормов. Самые основные из них представлены ниже.

1. «Hook echo» — это изображение конвективного шторма на радаре, имеющее форму крючка (рис. 1.1). Если радиолокационный дисплей показывает отражательную способность этого типа с горизонтальным размером 40-150 км., то с вероятностью 99% можно определить наличие суперячейки. Эта структура отражения указывает на наличие мезоциклона. Зона, свободная от радиоэхо (вогнутая часть), соответствует зоне притока. Области с высокой отражательной способностью (красный / розовый цвет) соответствуют интенсивным осадкам и крупному граду.

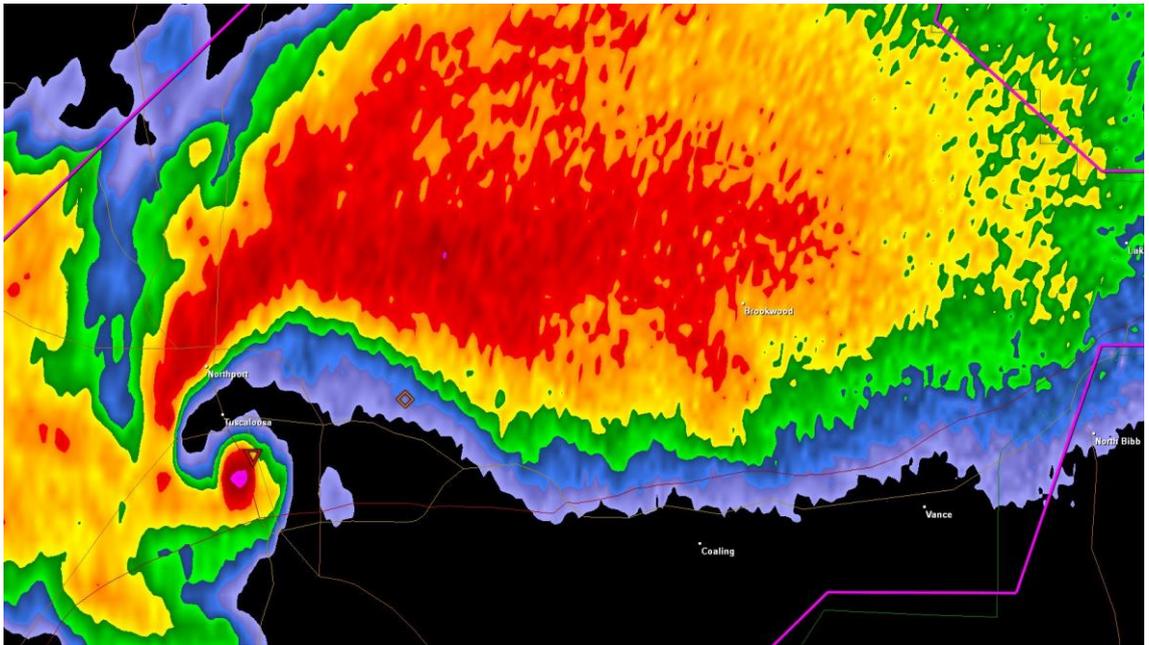


Рисунок 1.1 Система с явно выраженной сигнатурой на радаре в виде крючка (Hook echo), штат Миннесота. ^[1]

2. «V-notch» — ещё один элемент суперячейки, V-выемка (рис 1.2). Отражаемость подобной формы указывает на расхождение основных потоков в грозовой системе вокруг одного мощного восходящего потока. Также иногда можно заметить «выемку притока» (Inflow notch) — вогнутое радиоэхо в области тёплого сектора мезоциклона.

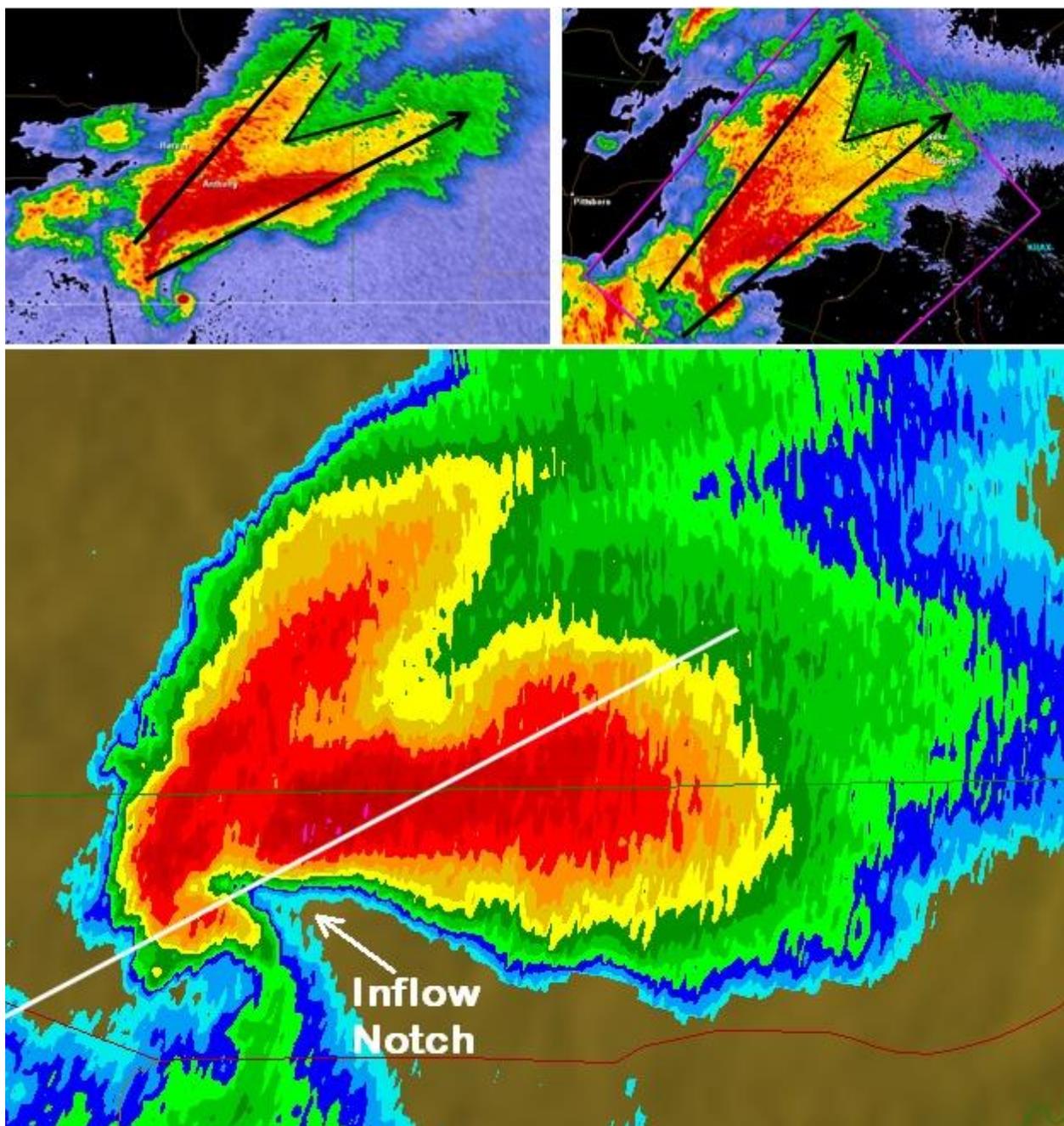


Рисунок 1.2 V-выемка (вверху) и «выемка притока» (внизу) на радарных снимках. ^[3]

3. Vow-echo (эхо-лук), ДДС (дугообразная долгоживущая система) – дугообразное изображение на радаре, наблюдаемое в структуре линейных гроз (на линиях шквала, либо как элемент внутри мезомасштабной конвективной системы – МКС). Прохождение такого шторма сопровождается почти всегда сильными шквалами, крупным градом, иногда возникают отдельные торнадо. Горизонтальные размеры ДДС составляют в пределах 50–200 км, а продолжительность существования может варьировать от 2 до 6 часов в

среднем. На заключительном этапе существования, Bow-echo может эволюционировать в «comma echo» (эхо-запятая). Под действием силы Кориолиса происходит развитие циклонического вихря (точка «С» на рисунке 1.3) с последующим ослаблением остальной части конвективной системы за счёт усиления в тех частях антициклонической циркуляции (применительно для Северного полушария).

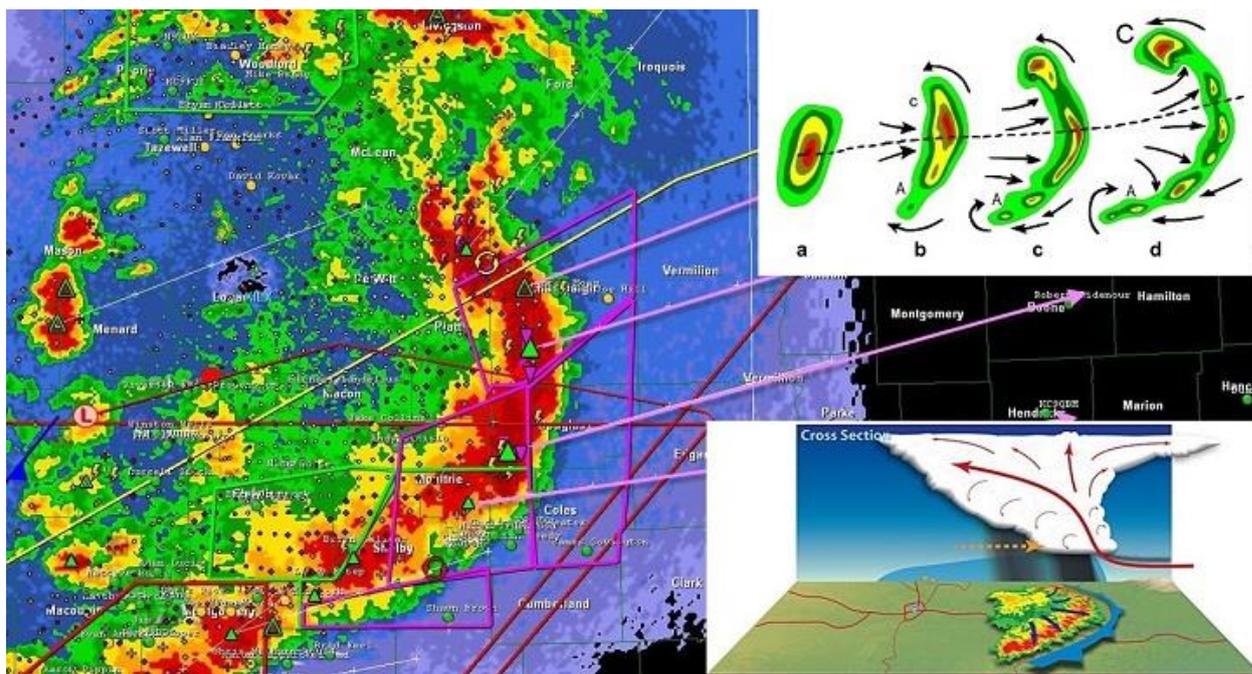
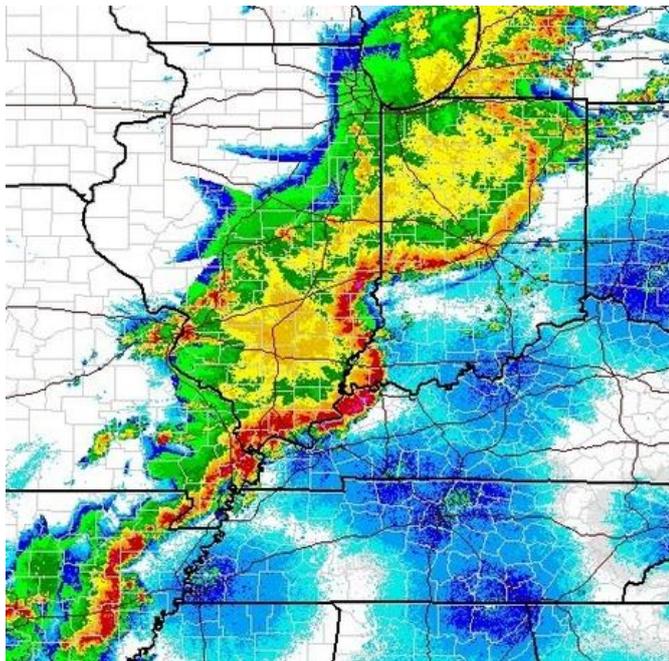


Рисунок 1.3 Радарное изображение шторма по типу «лук эхо», а также процесс его эволюции с дальнейшим переходом в «comma echo». [2]

4. Line echo wave pattern (LEWP) – линейное эхо волнообразной структуры. Достаточно редкий тип отражённого сигнала, который создаётся целым комплексом или системой связанных между собой ДДС (рис. 1.4). По сути, это линия шквалов (squall line), в которой разные её части смещаются с различной скоростью, что формирует волновую структуру



LINE ECHO WAVE PATTERN (LEWP)
AS SEEN ON RADAR

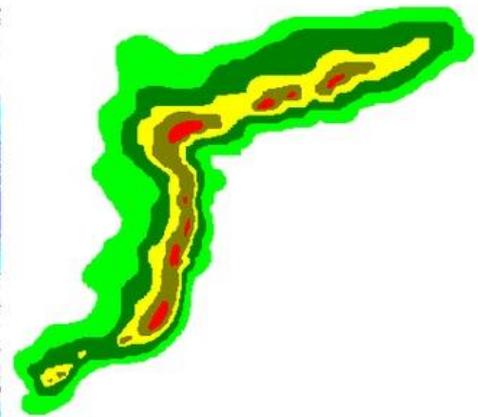


Fig. 4. LEWP (line-echo wave pattern). Typical radar reflectivity contours associated with a LEWP. Note similarity of the lower half of the echo to the bow echo in Fig. 1.

Рисунок 1.4 Радарное изображение (слева) и схематическое представление (справа) линейного эха волнообразной структуры. ^[3]

Глава 2. Обзор мезомасштабных конвективных систем в Санкт-Петербурге

2.1 Грозовая активность в Санкт-Петербурге

Из-за большой изменчивости погоды, иногда в течение одного дня, Северо-Западный регион России является одним из самых сложных для прогнозирования. Помимо резких изменений погоды, которые сами по себе являются неблагоприятными факторами, на территории Санкт-Петербурга наблюдаются практически все опасные метеорологические явления, в том числе кратковременные интенсивные ливни и затяжные дожди, грозы, град. В Ленинградской области колебания количества дней с грозой значительны: 13–14 дней над Финским заливом и около о. Котлин, 18–20 в Санкт-Петербурге, 22–25 в Тихвине и Новой Ладого. Уменьшение количества дней с грозами над Финским заливом связано с циркуляцией бриза, который размывает мощный кучево-облачный покров и препятствует образованию грозовых облаков. Что касается Тихвина и Новой Ладого, то здесь решающую роль играет Ладожско-Тихвинская магнитная аномалия, повышающая грозовую активность.

Таблица 2.1.1 Среднее число дней с грозой Санкт-Петербург (Пулково) за 2011–2014 годы по данным грозопеленгационной сети.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Гроза над Пулково	0.3	0.0	0.0	0.5	1.3	1.5	2.8	1.3	1.5	0.0	0.0	0.0	9.2
Гроза в окрестностях Пулково	0.3	0.0	0.3	0.5	2.8	3.0	4.8	3.0	2.8	0.0	0.0	0.0	17.5
Гроза в Санкт-Петербурге	0.3	0.0	0.3	2.3	7.3	9.0	13.8	8.8	4.5	1.5	0.0	0.3	48.1
Гроза в Ленинградской области	0.5	0.3	0.3	2.5	9.0	13.0	16.8	13.5	5.8	2.0	0.0	0.8	64.

Исходя из данных в таблице 2.1.1, можно сделать вывод о том, что в основном грозы в Санкт-Петербурге за данный период произошли в самые тёплые месяцы, а максимальное количество гроз наблюдалось в июле.

Таблица 2.1.2 Средняя продолжительность гроз (ч) Санкт-Петербург (Пулково) за 2011-2014 годы по данным грозопеленгационной сети

<i>Месяц</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>Год</i>
<i>Гроза над Пулково</i>	<i>0.3</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.3</i>	<i>1.5</i>	<i>0.9</i>	<i>2.2</i>	<i>1.0</i>	<i>1.5</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>7.7</i>
<i>Гроза в окрестностях Пулково</i>	<i>0.3</i>	<i>0.0</i>	<i>0.3</i>	<i>0.6</i>	<i>4.2</i>	<i>3.7</i>	<i>5.4</i>	<i>2.6</i>	<i>4.3</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>21.4</i>
<i>Гроза в Санкт-Петербурге</i>	<i>0.3</i>	<i>0.0</i>	<i>0.3</i>	<i>4.7</i>	<i>24.8</i>	<i>26.4</i>	<i>33.1</i>	<i>24.9</i>	<i>16.6</i>	<i>1.8</i>	<i>0.0</i>	<i>0.2</i>	<i>133.1</i>
<i>Гроза в Ленинградской области</i>	<i>0.5</i>	<i>0.3</i>	<i>0.3</i>	<i>7.2</i>	<i>45.0</i>	<i>52.1</i>	<i>64.1</i>	<i>52.9</i>	<i>27.4</i>	<i>3.9</i>	<i>0.0</i>	<i>0.6</i>	<i>254.3</i>

Таблица 2.1.2 показывает, что самая большая средняя продолжительность гроз за этот период будет в июле.

2.2 Обзор мезомасштабных систем за 2013 год

Эхо – лук

За 2013 год система «Эхо-лук» наблюдалось всего 5 раз. Возьмём систему за 26 июня, продолжительность которого была с 8:46 по 11:16 и опишем радиолокационный обзор за 9:16, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

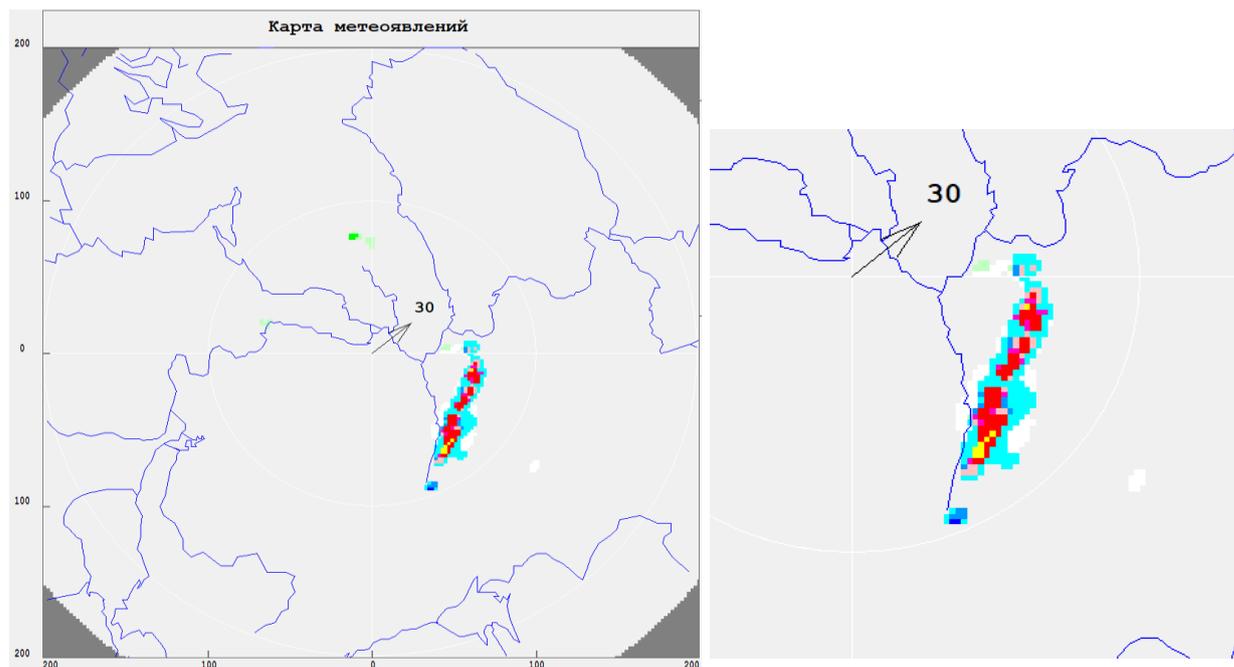


Рисунок 2.2.1 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 26 июня в 9:16

Рисунок 2.2.1 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 30 км/ч.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в восточной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.2.2 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

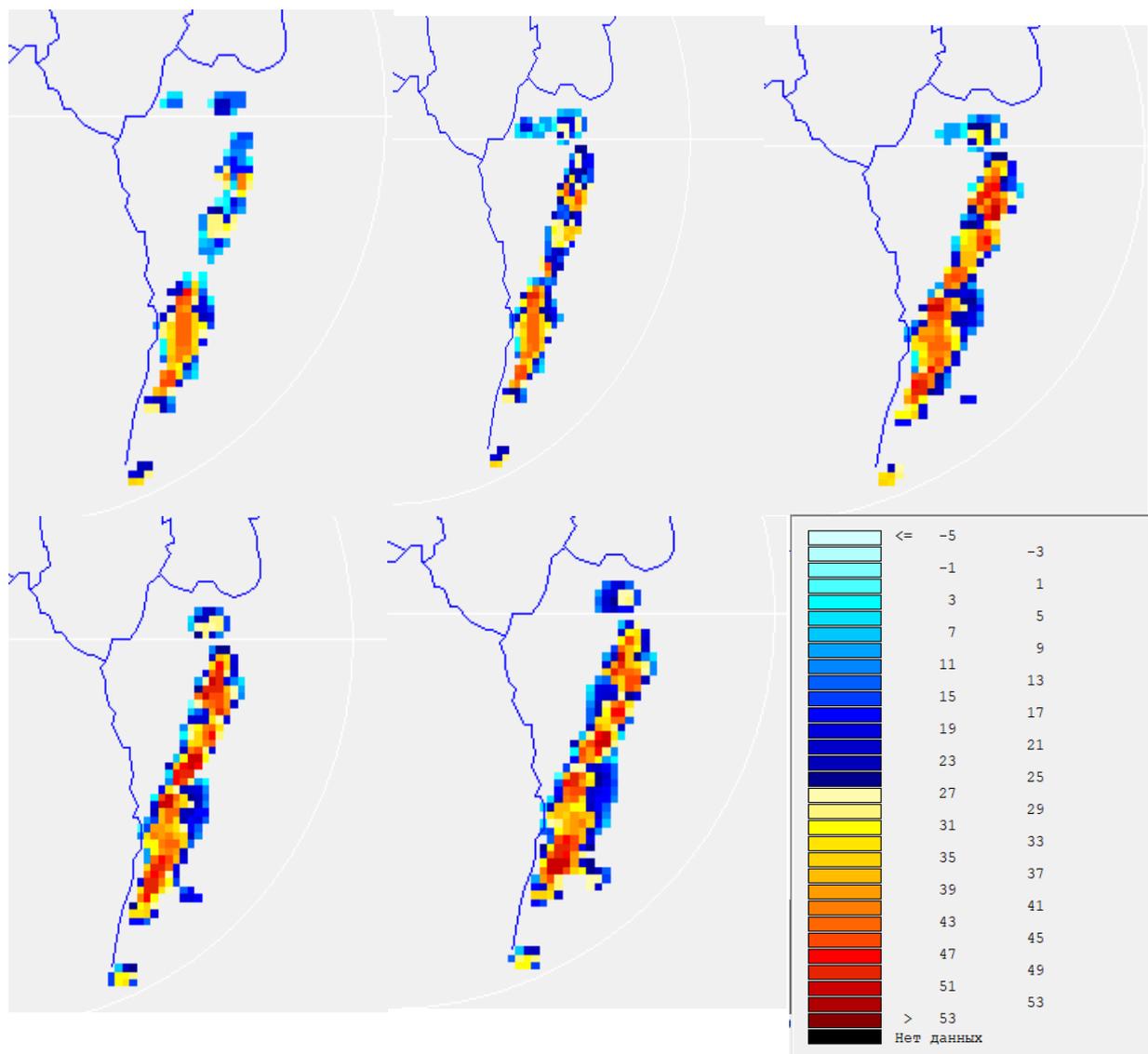


Рисунок 2.2.2 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 4 км и составляла 51 dBZ.

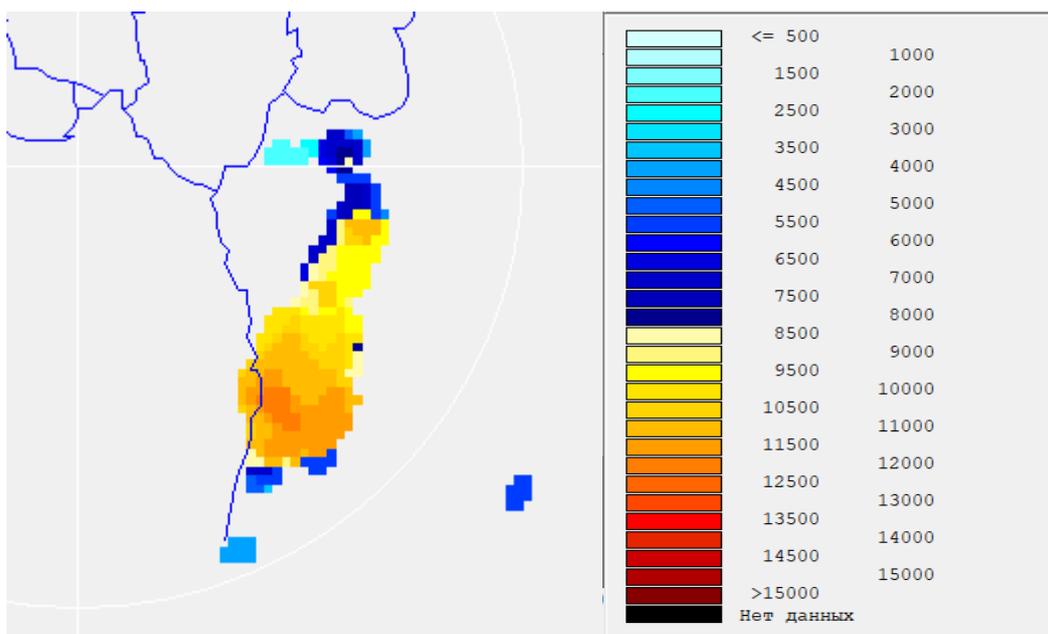


Рисунок 2.2.3. Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.2.3 показал, что максимальная высота радиоэха: 12000 м

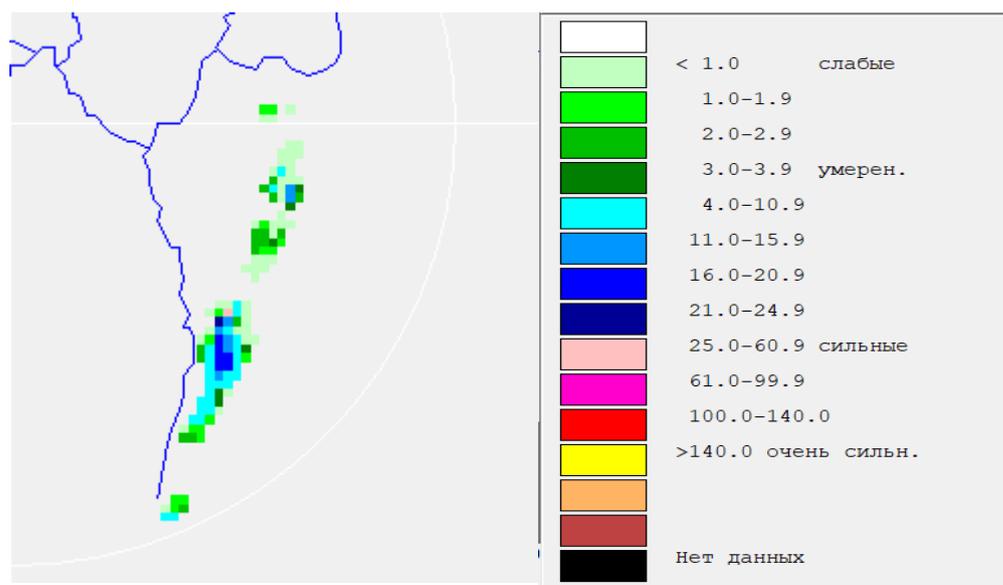


Рисунок 2.2.4. Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.2.4 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 25,0 – 60,9 мм/ч.

Эхо – крючок

За 2013 год система «Эхо-крючок» наблюдалось всего 4 раза. Возьмём систему за 17 июня, продолжительность которого была с 20:26 по 22:56 и опишем радиолокационный обзор за 21:16, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

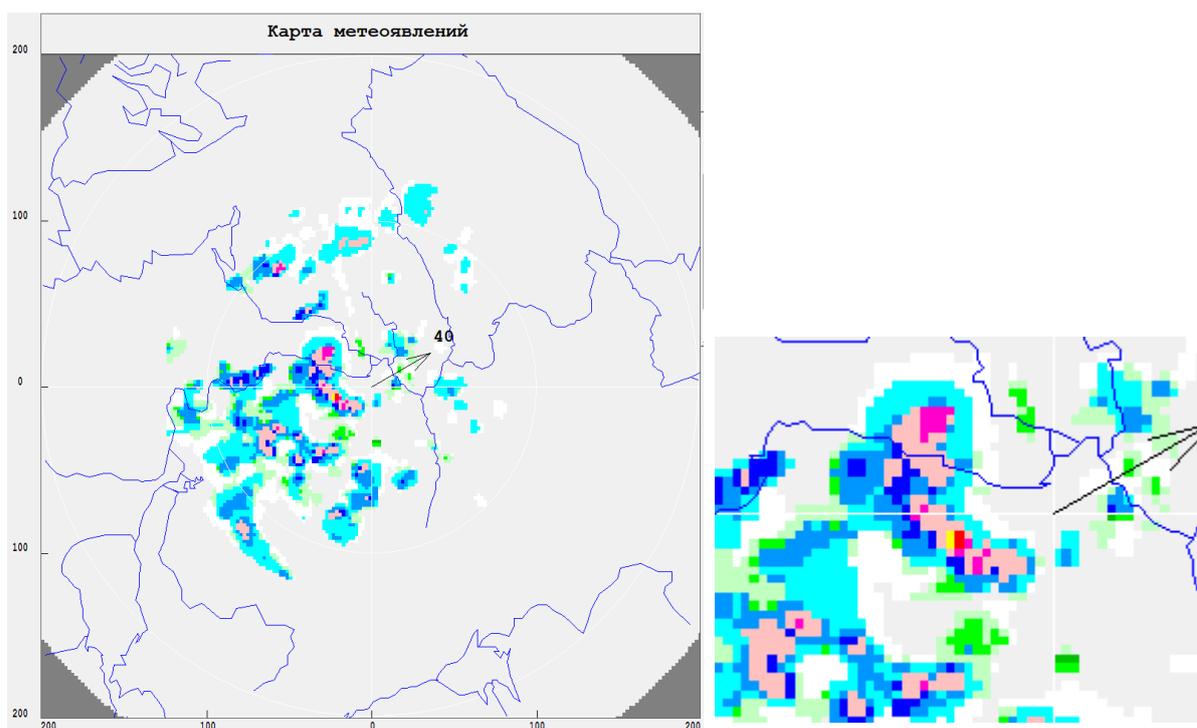


Рисунок 2.2.5 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 17 июня в 21:16

Рисунок 2.2.5 показывает, что система смещалась на северо-запад, ветер во время смещения явления в среднем была 40 км/ч.

Данные показали, что грозы с 25 процентной вероятностью были в центральной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге гроза ожидается с вероятностью 25 процентов.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.2.6 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

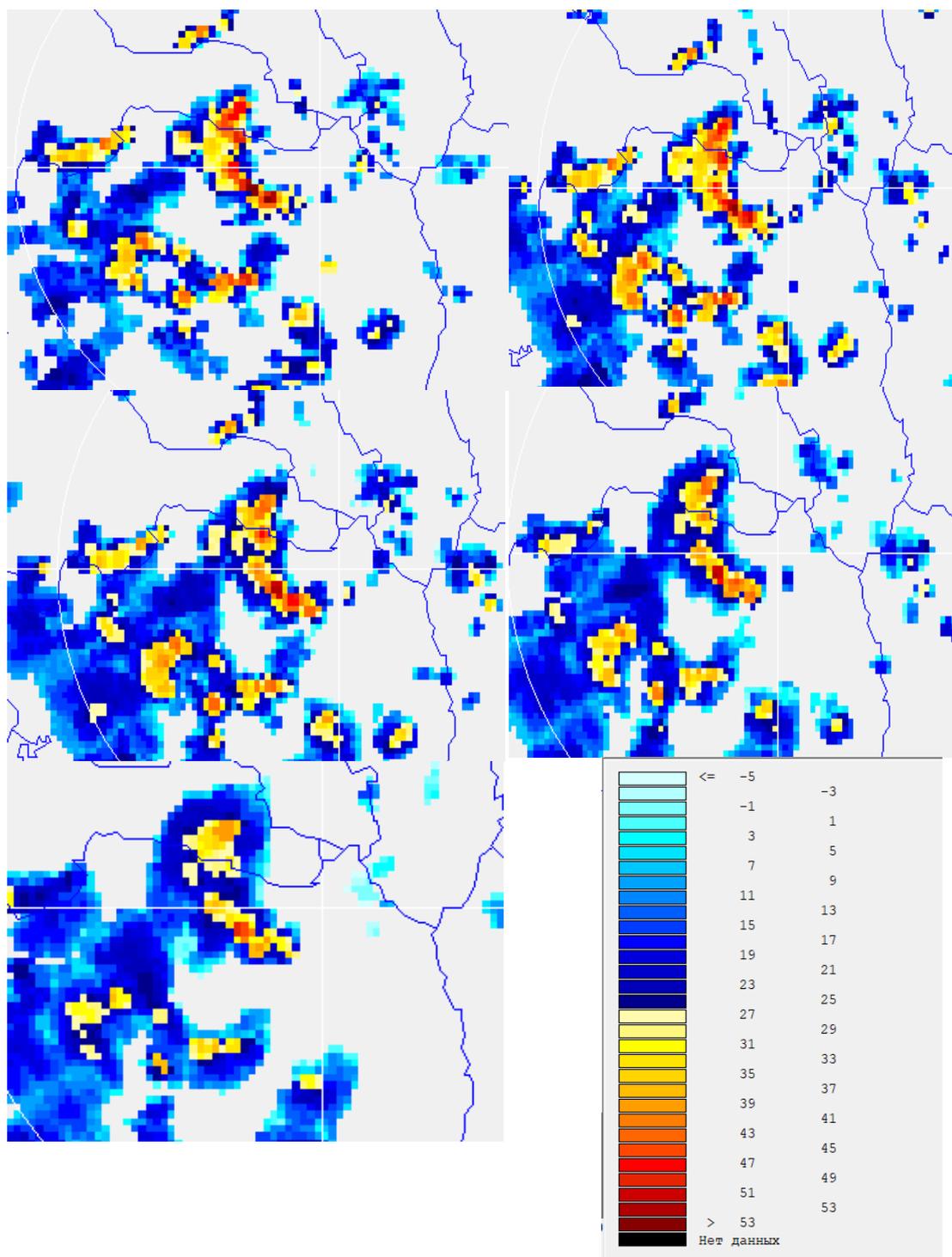


Рисунок 2.2.6 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 2 км и составляла больше 53 dBZ.

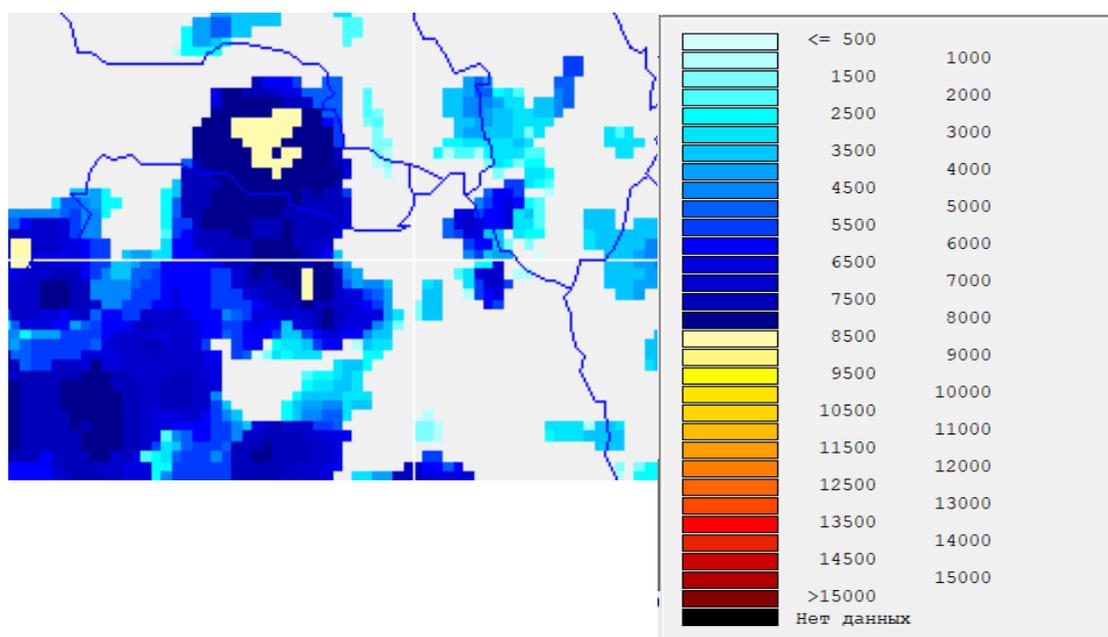


Рисунок 2.2.7 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.2.7 показал, что максимальная высота радиоэха: 8500 м

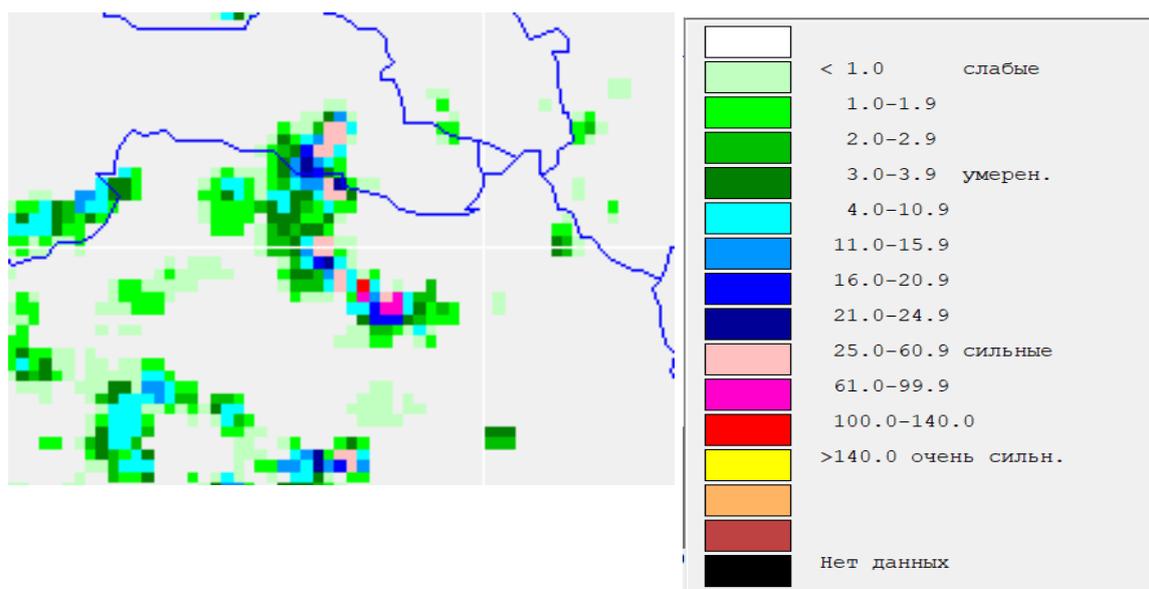


Рисунок 2.2.8 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.2.8 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 100,0–140,0 мм/ч.

Линейное эхо

За 2013 год система «Линейное эхо» наблюдалось всего 9 раз. Возьмём систему за 29 июня, продолжительность которого была с 13:56 по 16:26 и опишем радиолокационный обзор за 14:56, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

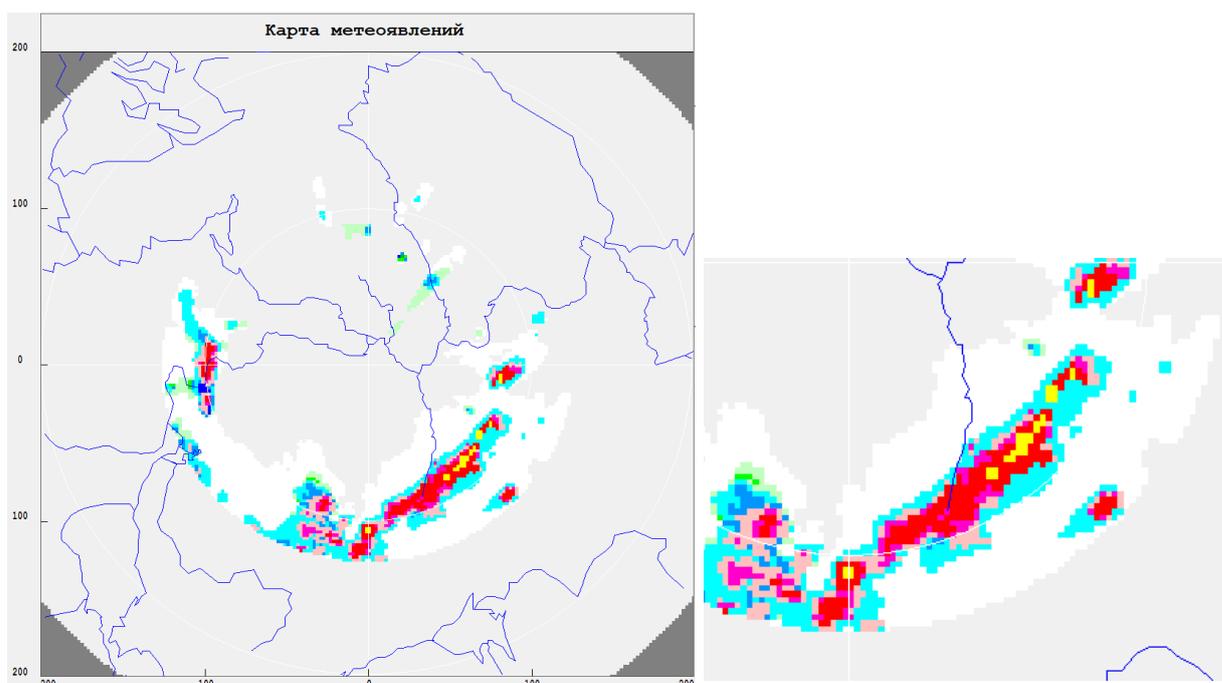


Рисунок 2.2.9 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 29 июня в 14:56.

Рисунок 2.2.9 показывает, что система не смещалась.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в юго-восточной части от локатора. В самом Санкт-Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.2.10 мы обзрели радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

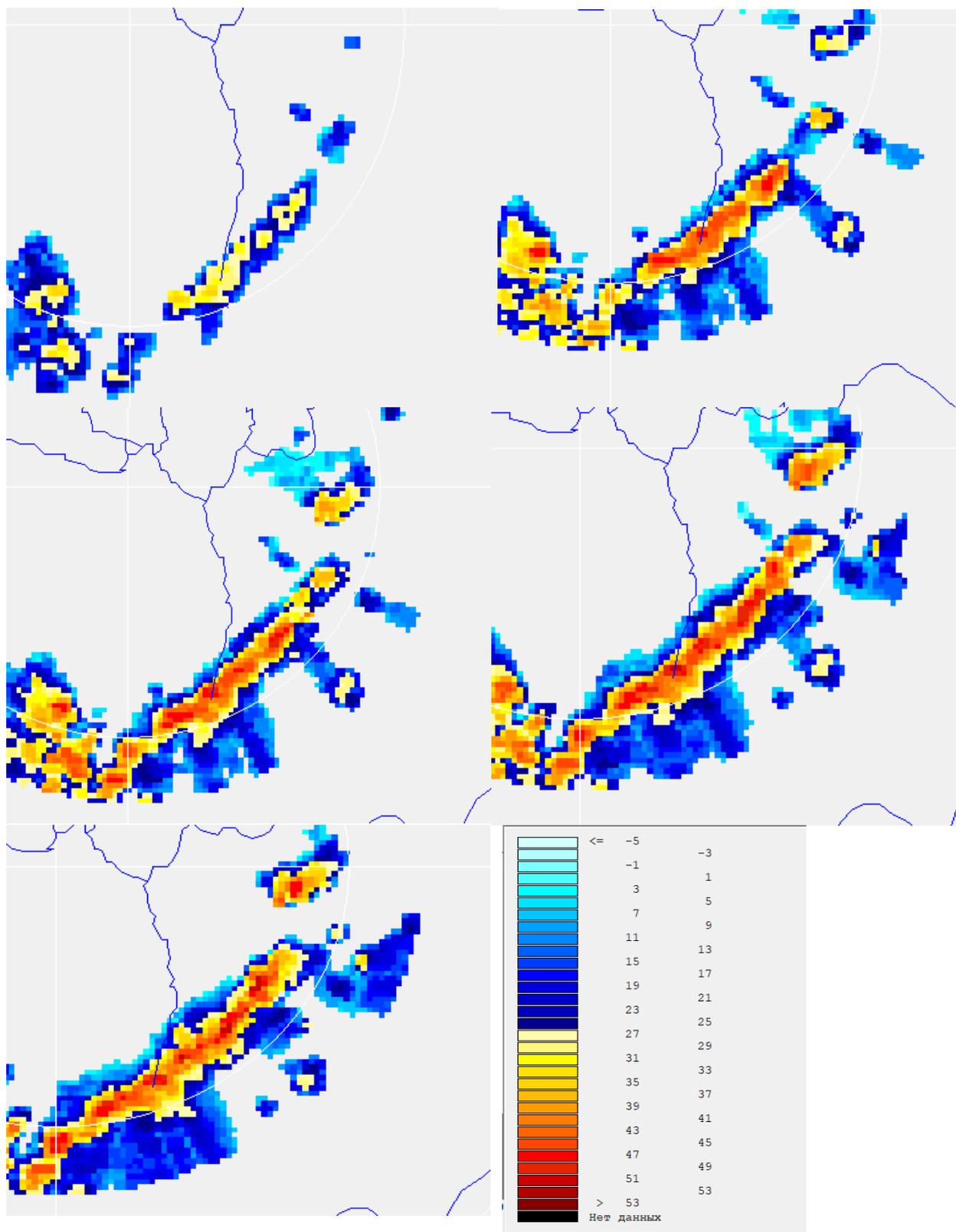


Рисунок 2.2.10 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 4 км и составляла 51 dBZ.

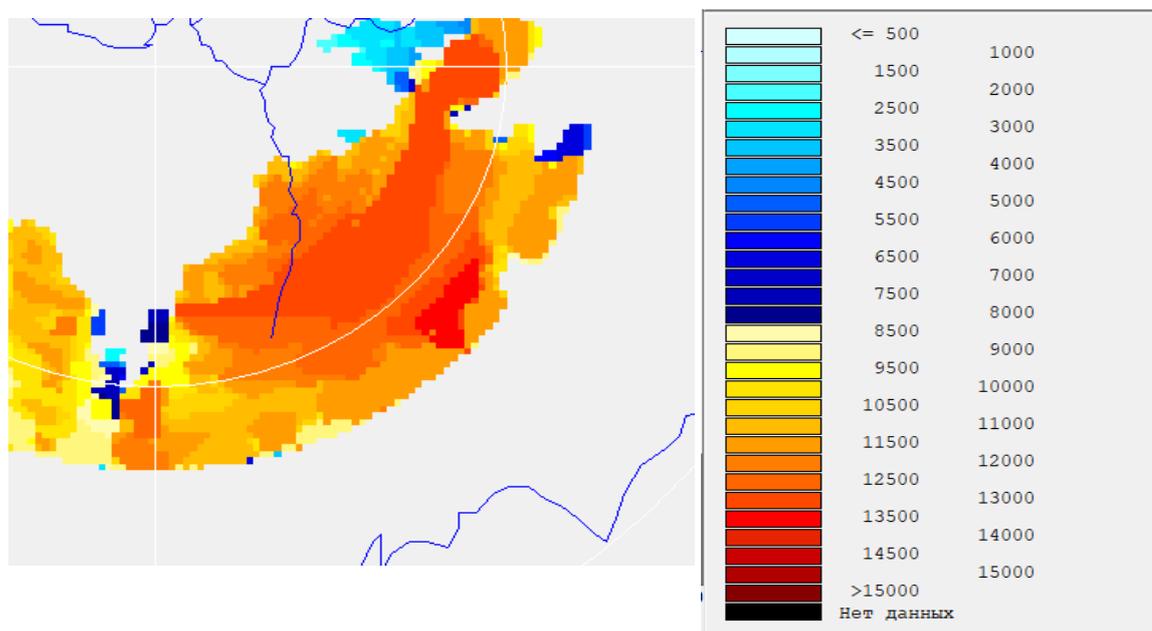


Рисунок 2.2.11 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.2.11 показал, что максимальная высота радиоэха: 13500 м

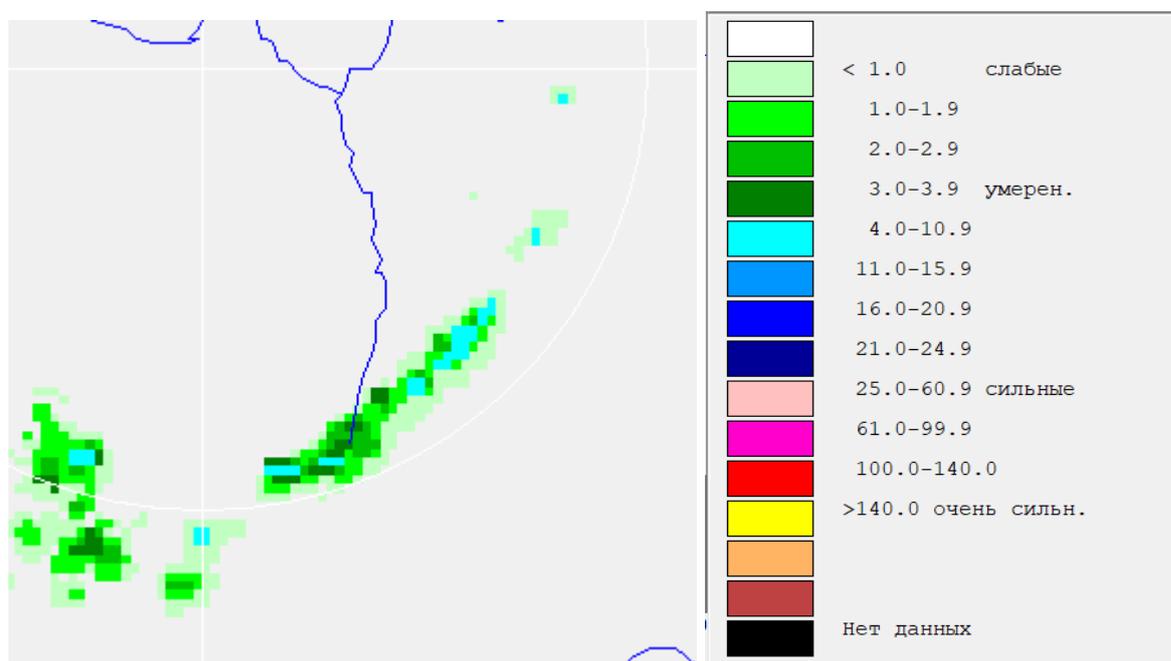


Рисунок 2.2.12 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.2.12 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 4,0–10,9 мм/ч.

V - выемка

За 2013 год система «V-выемка» наблюдалось всего 3 раза. Возьмём систему за 5 июля, продолжительность которого была с 12:06 по 12:46 и опишем радиолокационный обзор за 12:26, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

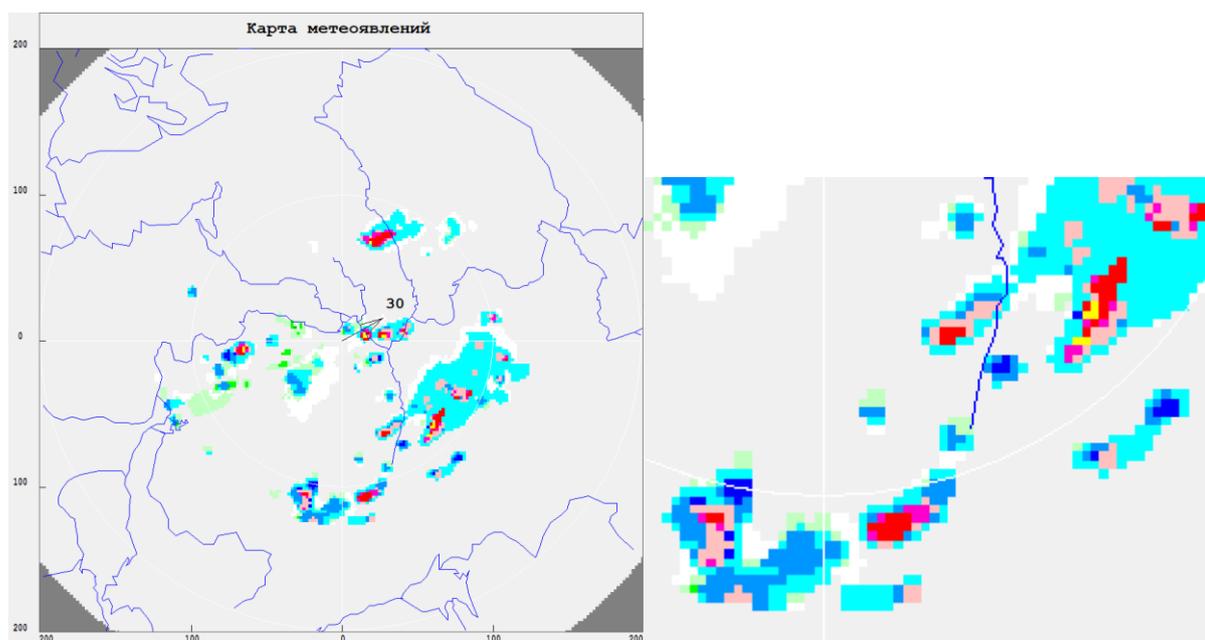


Рисунок 2.2.13 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 5 июля в 12:26

Рисунок 2.2.13 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 30 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в юго-восточной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге гроза ожидается с вероятностью 100 процентов.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.2.14 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

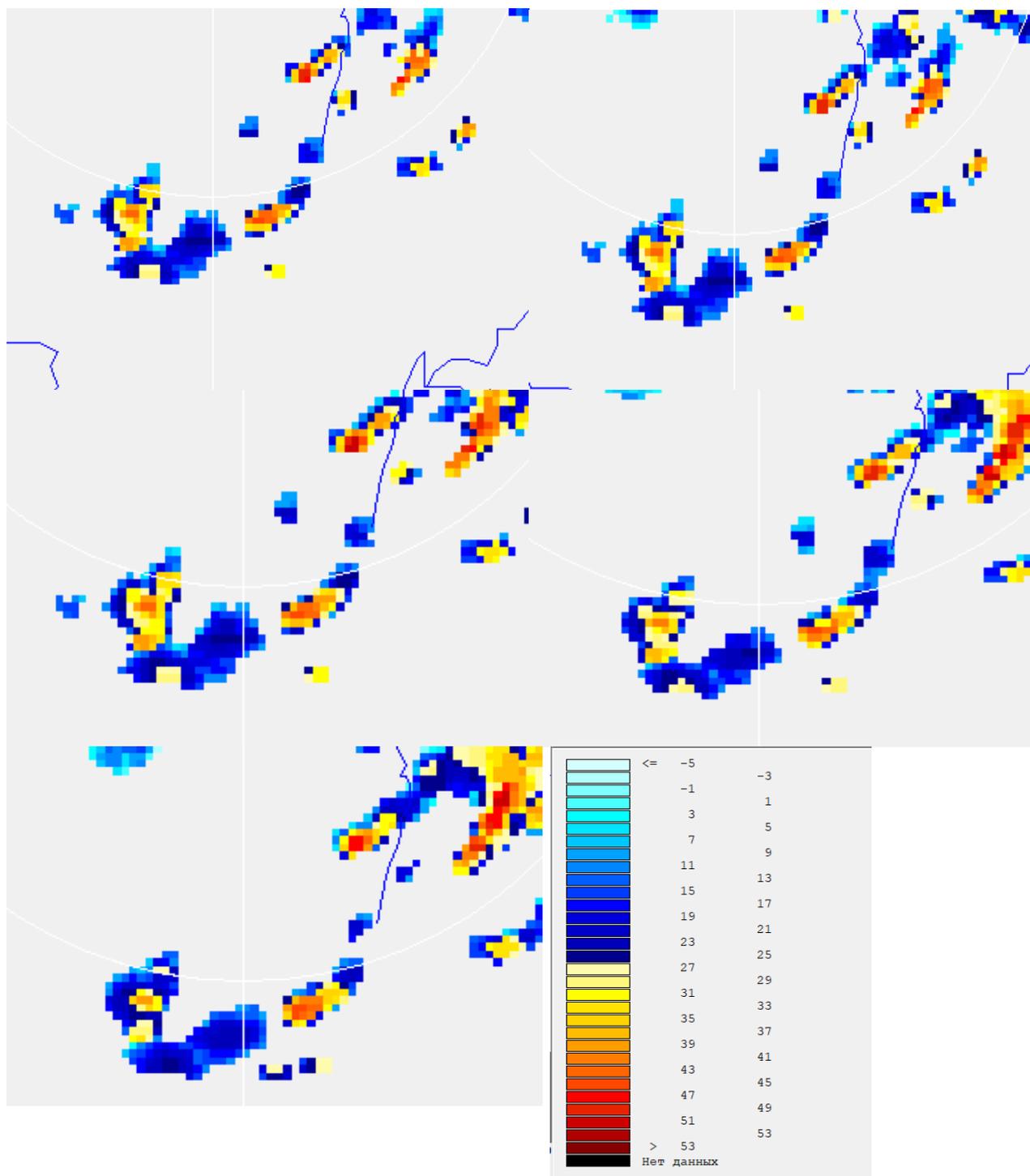


Рисунок 2.2.14 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 2 до 5 км и составляла больше 51 dBZ.

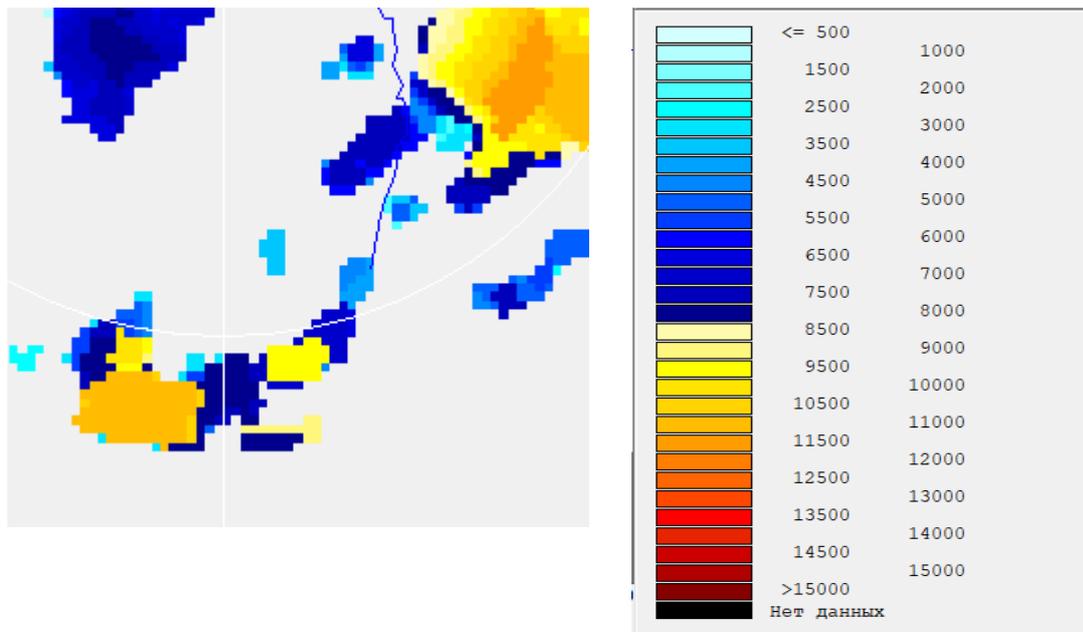


Рисунок 2.2.15 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.2.15 показал, что максимальная высота радиоэха: 12000 м

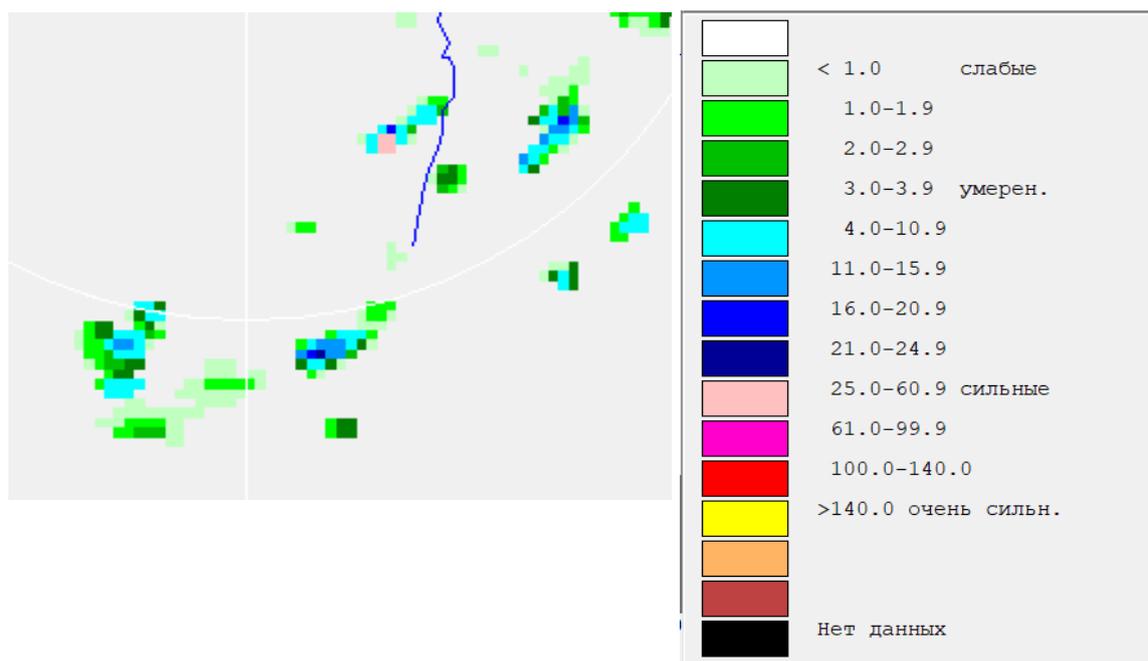


Рисунок 2.2.16 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.2.16 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 25,0–60,9 мм/ч.

2.3 Обзор мезомасштабных систем за 2014 год

Эхо – лук

За 2014 год система «Эхо-лук» наблюдалось всего 3 раза. Возьмём систему за 26 июля, продолжительность которого была с 11:57 по 13:07 и опишем радиолокационный обзор за 12:27, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

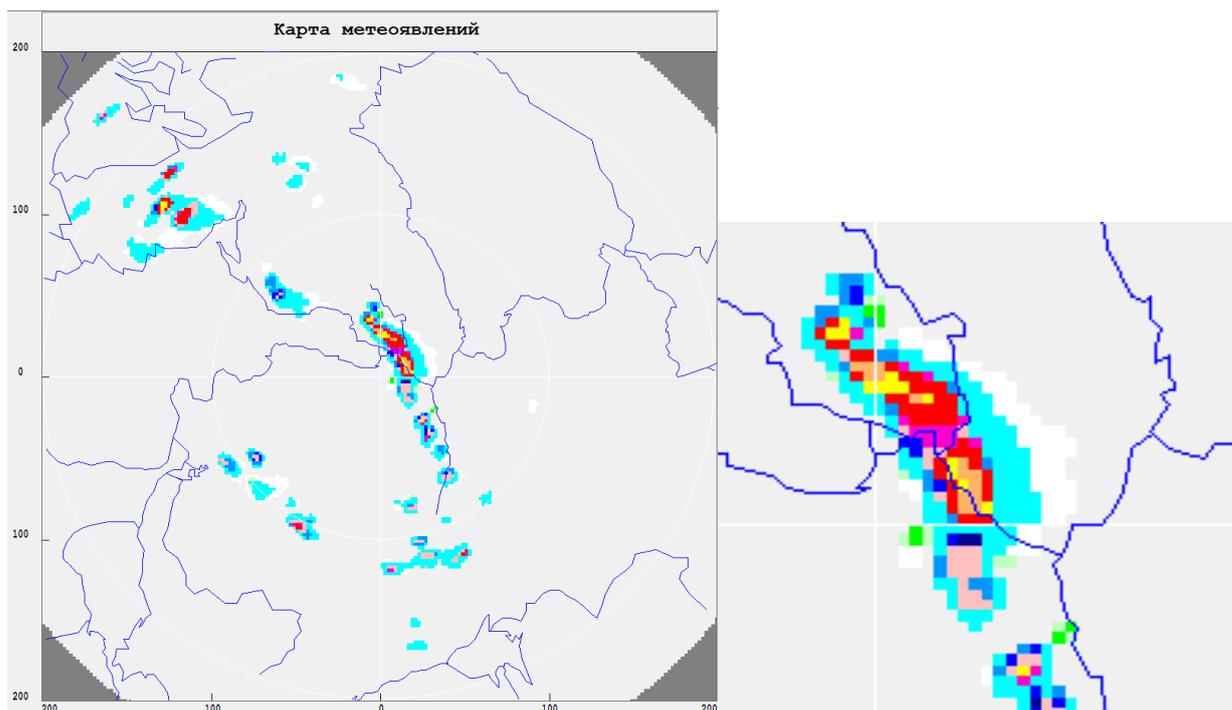


Рисунок 2.3.1 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 26 июля в 12:27

Рисунок 2.3.1 показывает, что система не смещалась.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в Санкт-Петербурге.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым и умеренным градом и умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.3.2 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

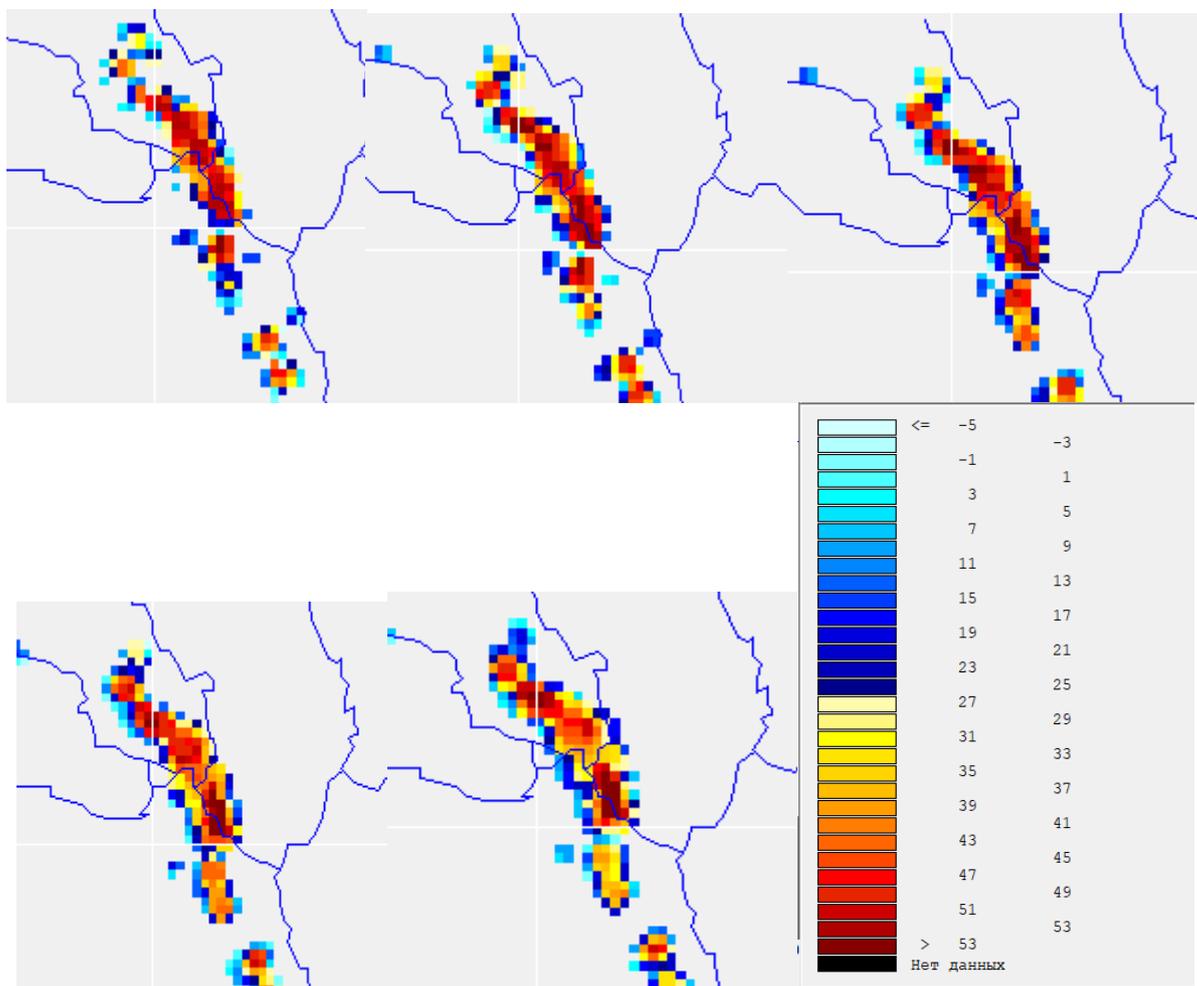


Рисунок 2.3.2 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 5 км и составляла больше 53 dBZ.

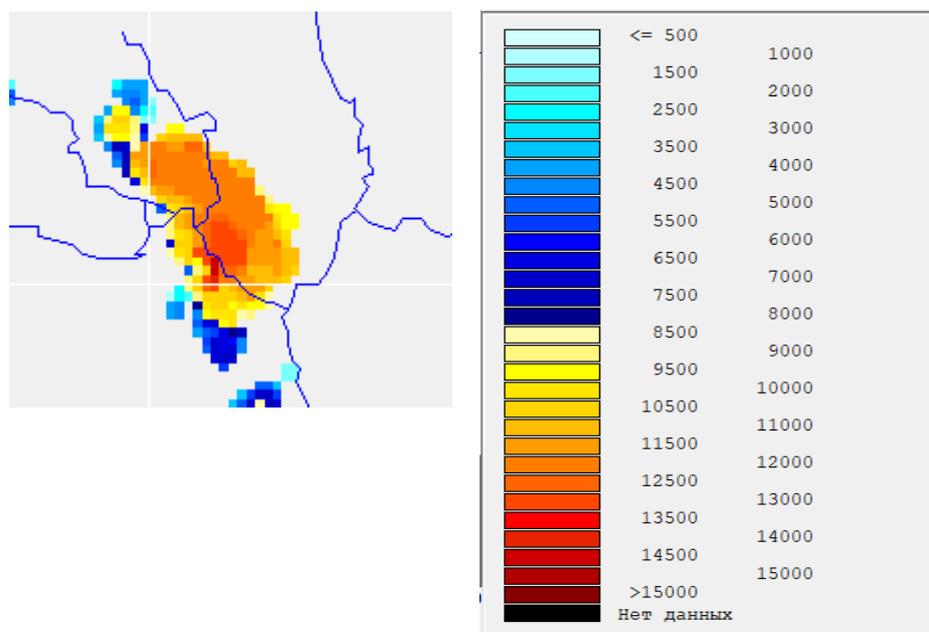


Рисунок 2.3.3 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.3.3 показал, что максимальная высота радиоэха: 14500 м

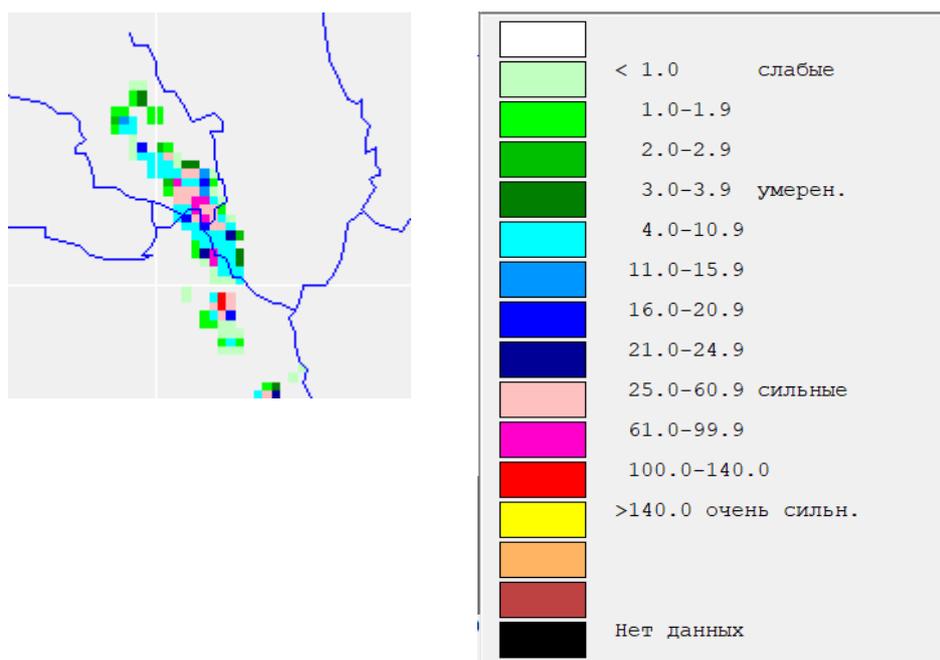


Рисунок 2.3.4 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.3.4 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 100,0 – 140,0 мм/ч.

Эхо – крючок

За 2014 год система «Эхо-крючок» наблюдалось всего 7 раз. Возьмём систему за 8 августа, продолжительность которого была с 2:57 по 4:37 и опишем радиолокационный обзор за 3:57, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

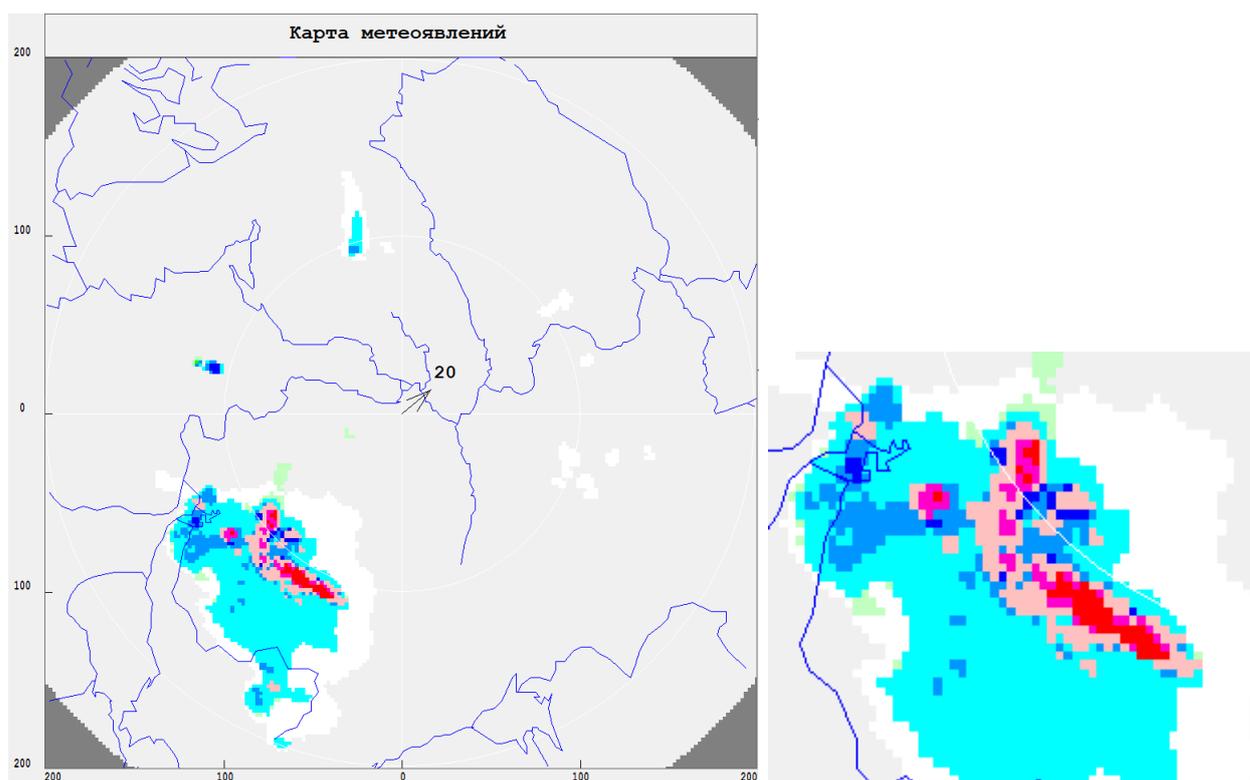


Рисунок 2.3.5 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 8 августа в 03:57

Рисунок 2.3.5 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 20 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в юго-западной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.3.6 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

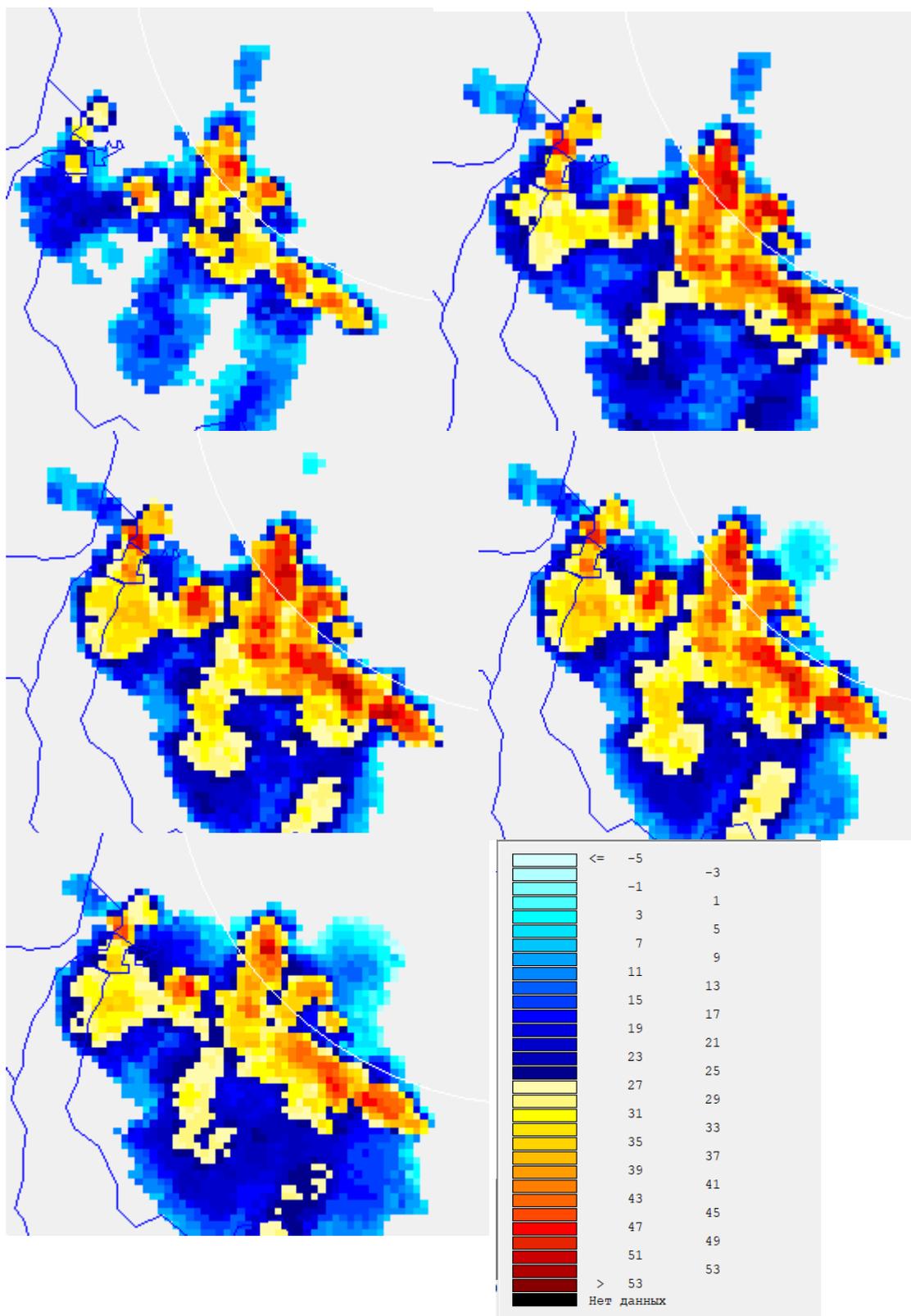


Рисунок 2.3.6 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 2 до 5 км и составляла 51 dBZ.

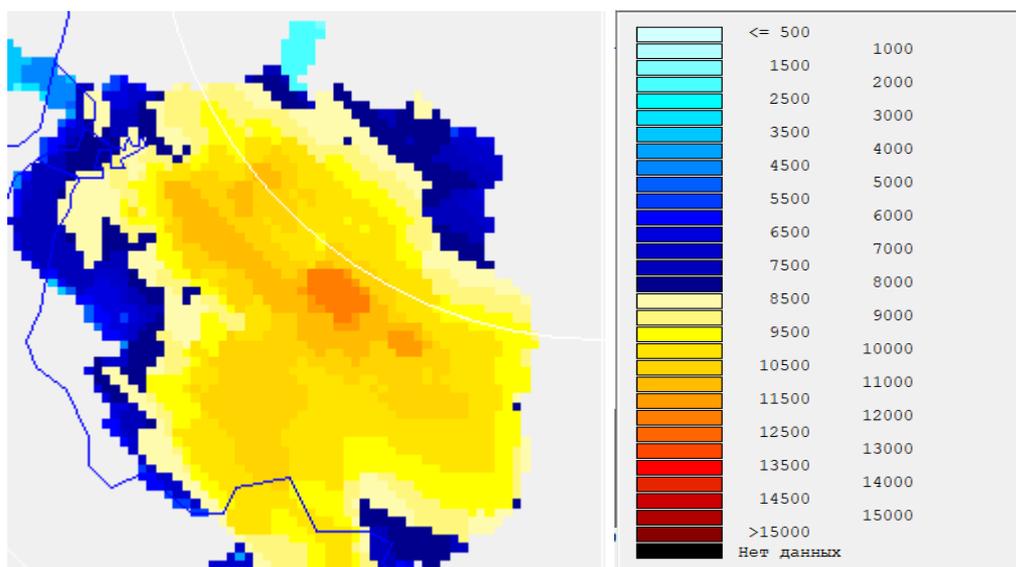


Рисунок 2.3.7 Карта высоты радиозэха в данном районе

Рисунок 2.3.7 показал, что максимальная высота радиозэха: 12000 м

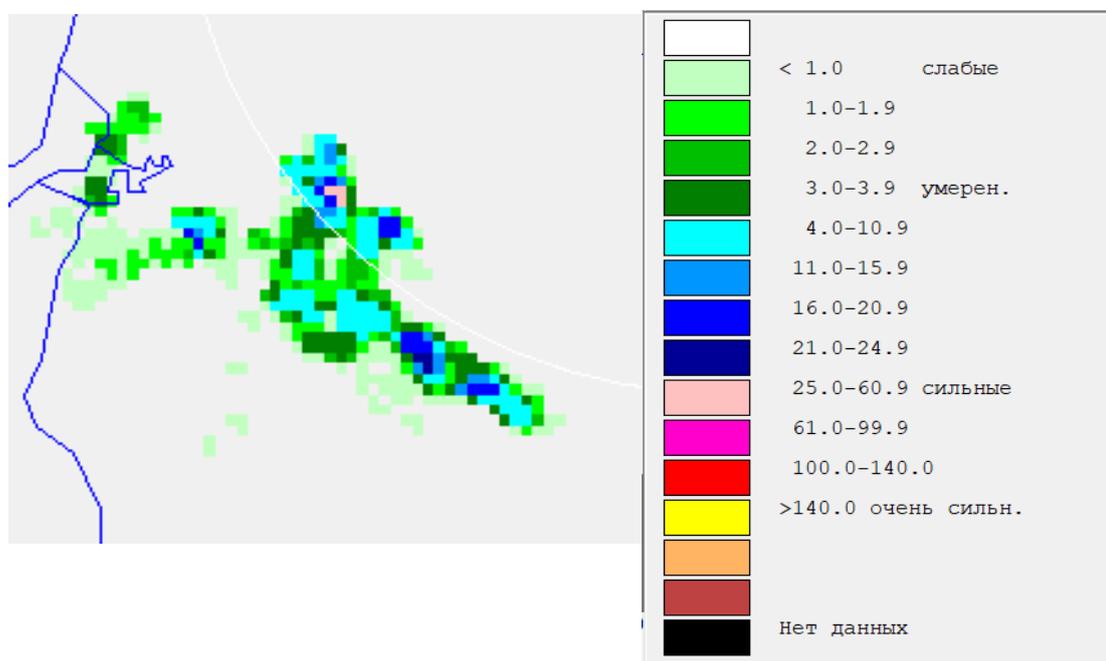


Рисунок 2.3.8 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.3.8 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 25,0–60,9 мм/ч.

Линейное эхо

За 2014 год система «Эхо-лук» наблюдалось всего 6 раз. Возьмём систему за 15 июля, продолжительность которого была с 14:37 по 17:37 и опишем радиолокационный обзор за 17:07, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

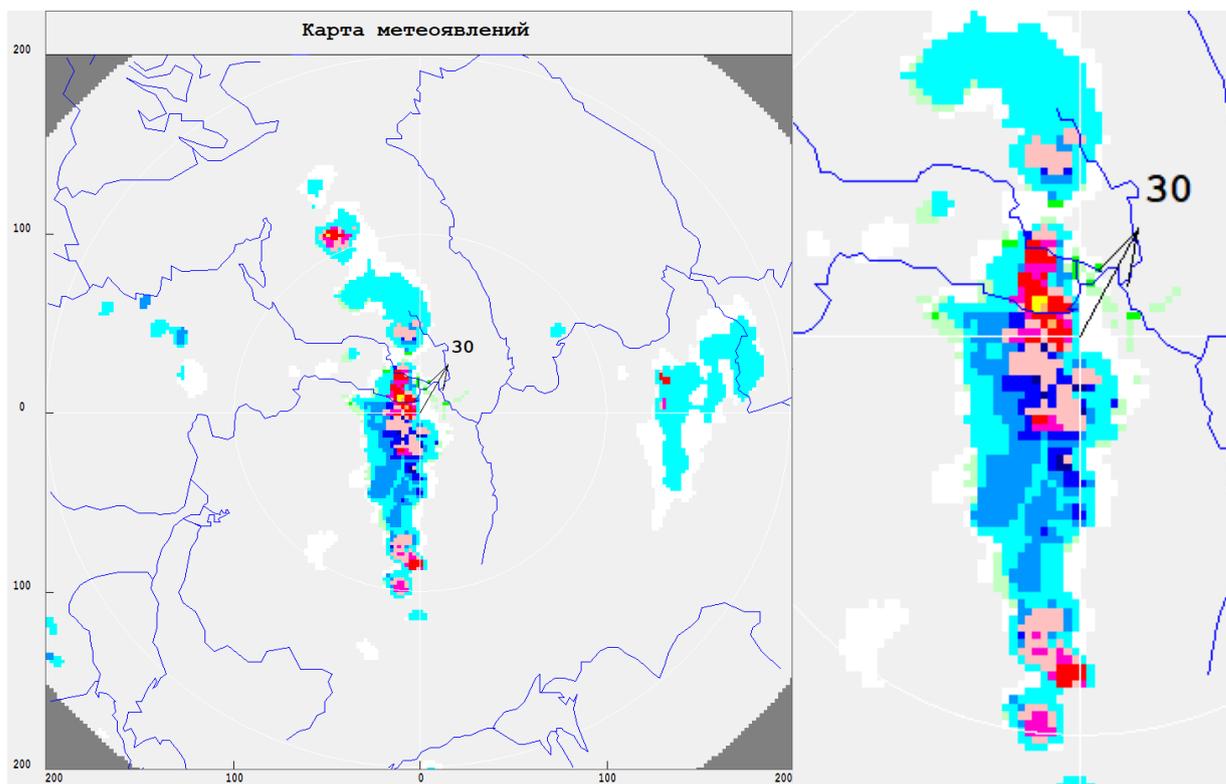


Рисунок 2.3.9 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 15 июля в 17:07

Рисунок 2.3.9 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 30 км/ч.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в Санкт-Петербурге.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым и умеренным градом и умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.3.10 мы обзрели радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

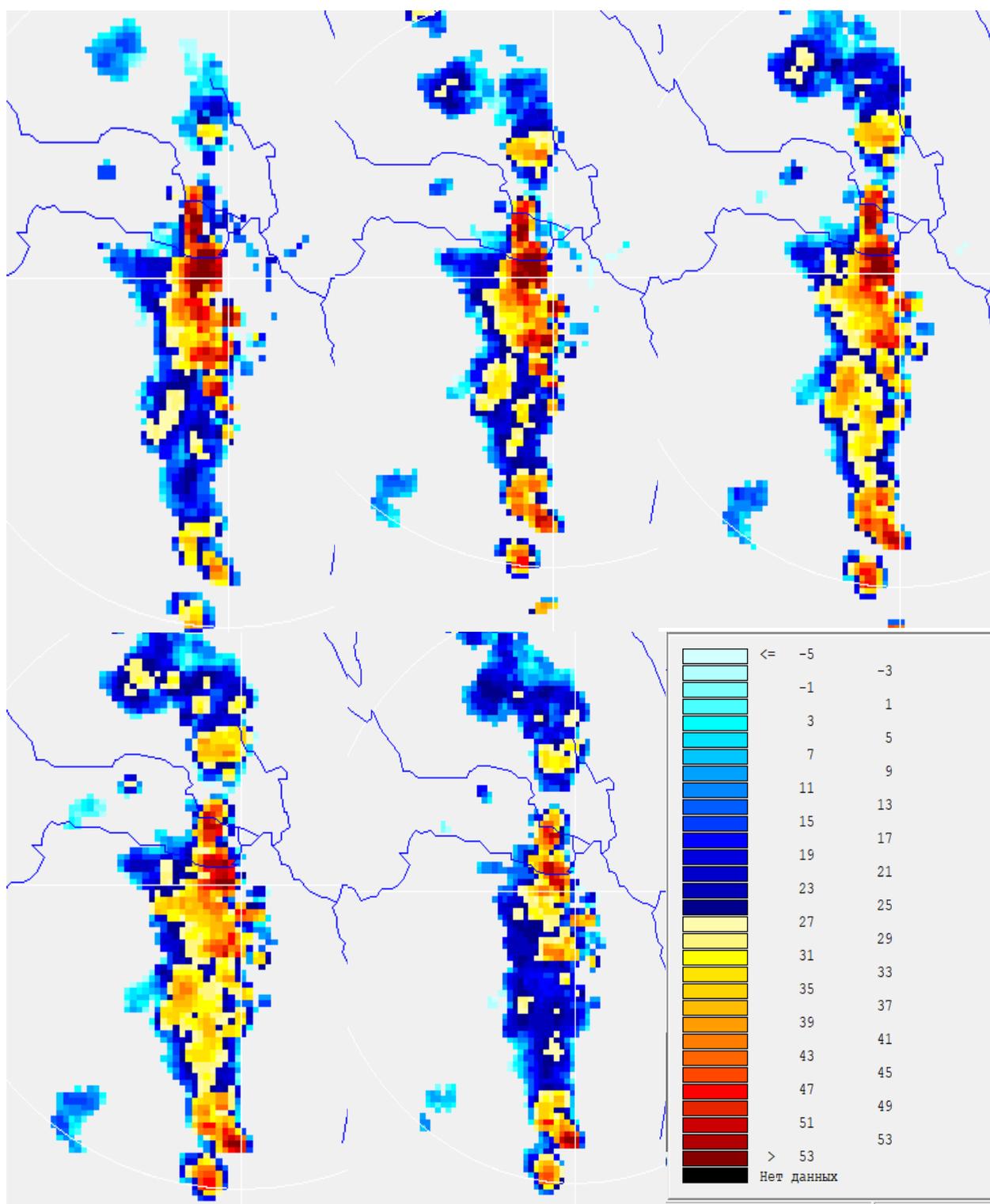


Рисунок 2.3.10 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 5 км и составляла больше 53 dBZ.

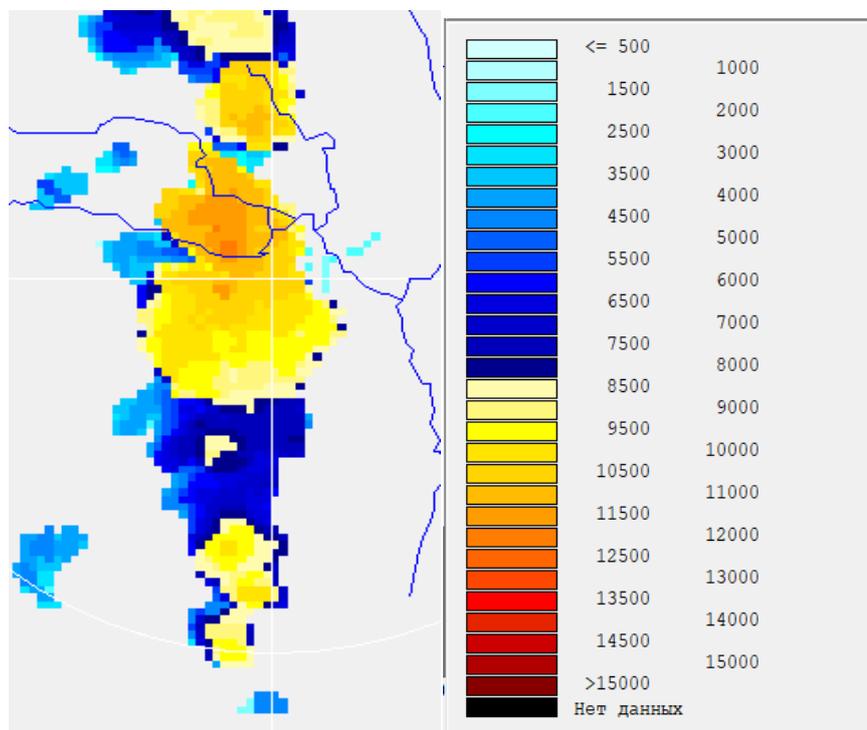


Рисунок 2.3.11 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.3.11 показал, что максимальная высота радиоэха: 12000 м

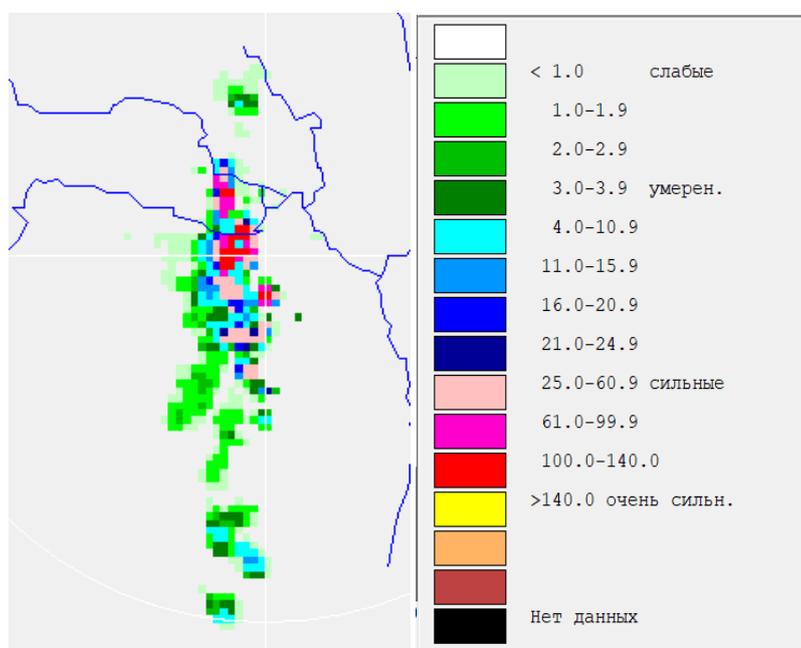


Рисунок 2.3.12 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.3.12 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 100,0–140,0 мм/ч.

V - выемка

За 2014 год система «V-выемка» наблюдалось всего 6 раз. Возьмём систему за 26 августа, продолжительность которого была с 16:37 по 18:27 и опишем радиолокационный обзор за 17:27, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

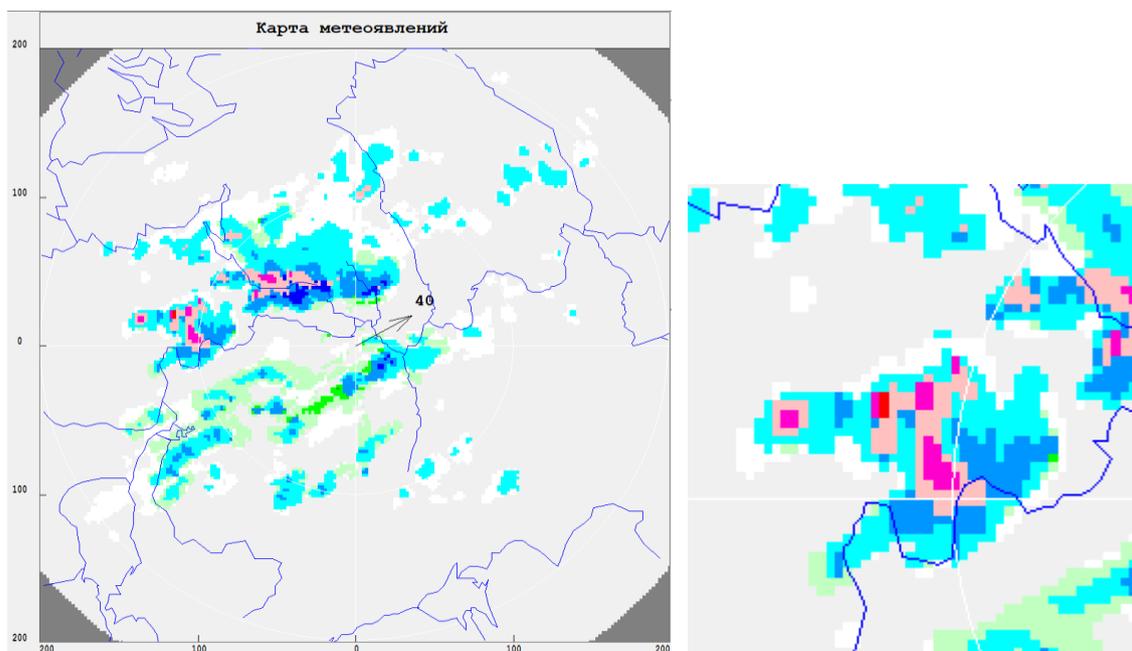


Рисунок 2.3.13 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 26 августа в 17:27

Рисунок 2.3.13 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 40 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в западной части от лоатора. В самом Санкт-Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.3.14 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0–1, 1–2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

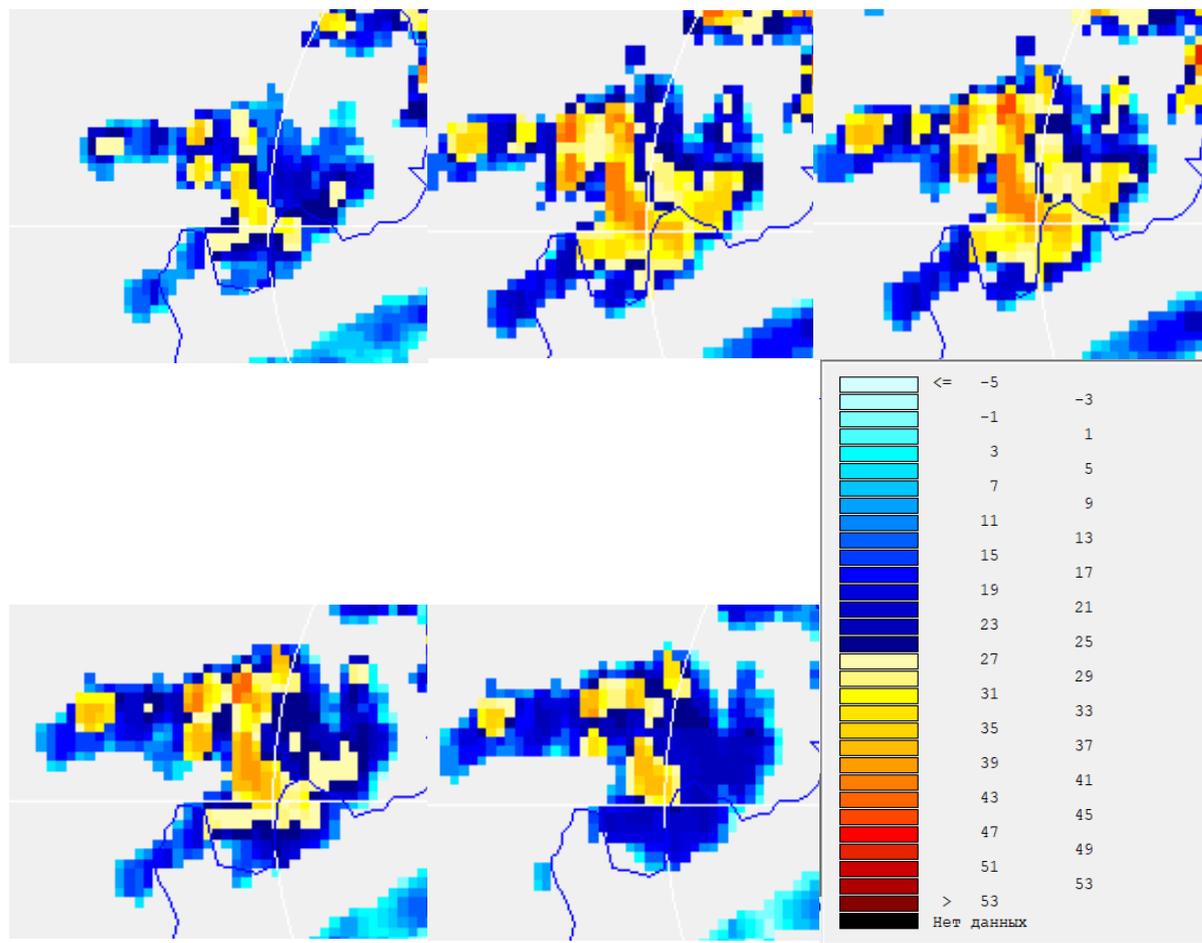


Рисунок 2.3.14 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 2 до 4 км и составляла 41 dBZ.

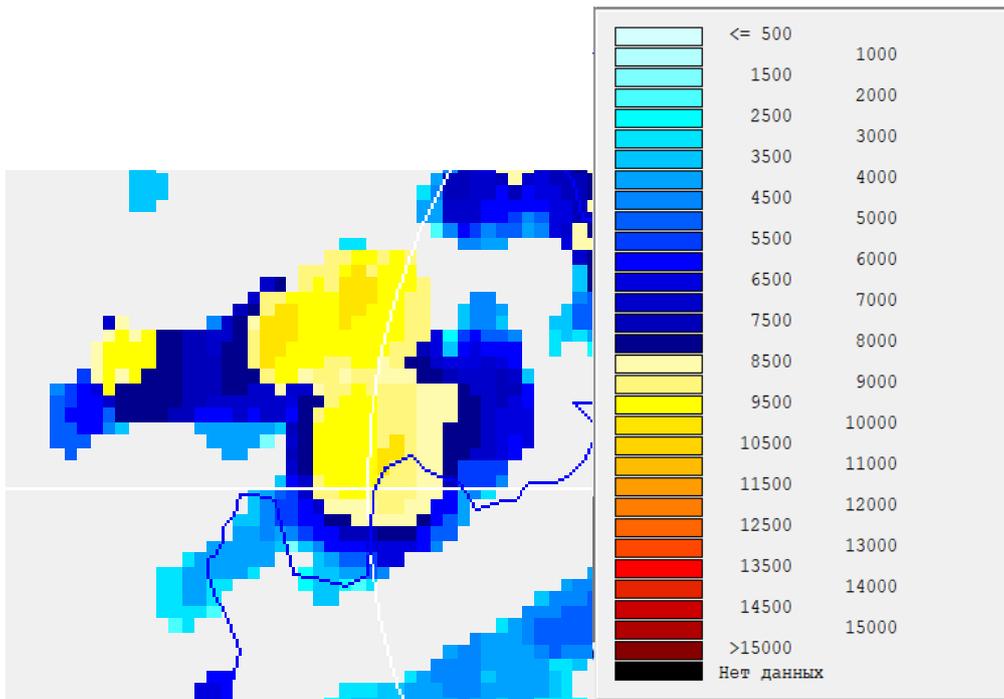


Рисунок 2.3.15 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.3.15 показал, что максимальная высота радиоэха: 10500 м

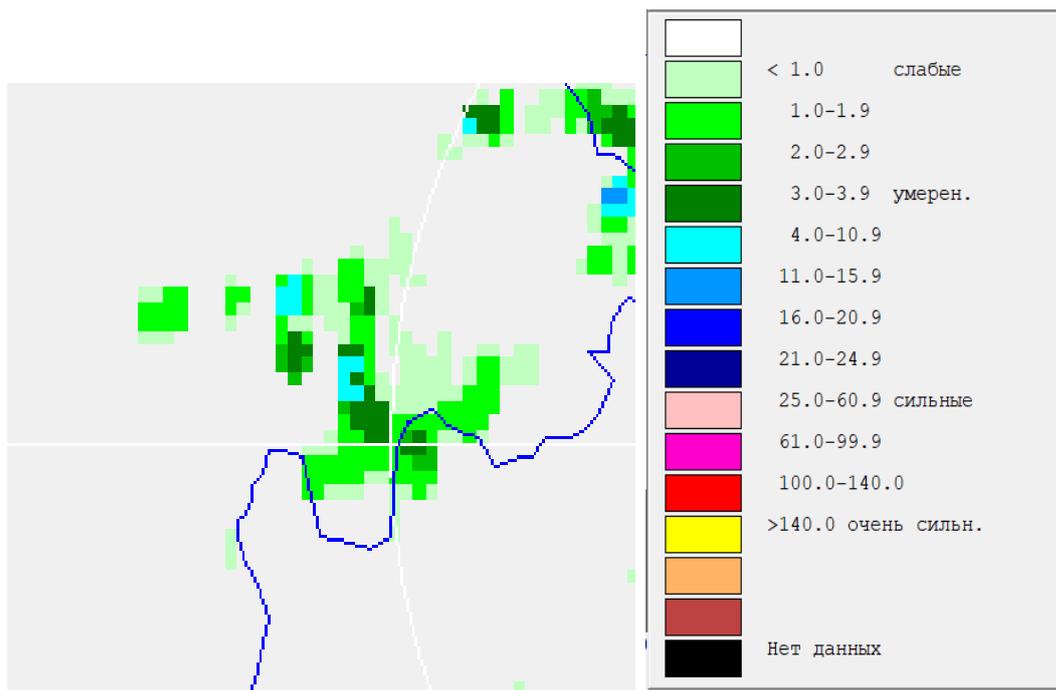


Рисунок 2.3.16 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.3.16 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 4,0–10,9 мм/ч.

2.4. Обзор мезомасштабных систем за 2015 год

Эхо – лук

За 2015 год система «Эхо-лук» наблюдалось всего 5 раз. Возьмём систему за 12 августа, продолжительность которого была с 18:26 по 19:46 и опишем радиолокационный обзор за 18:47, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

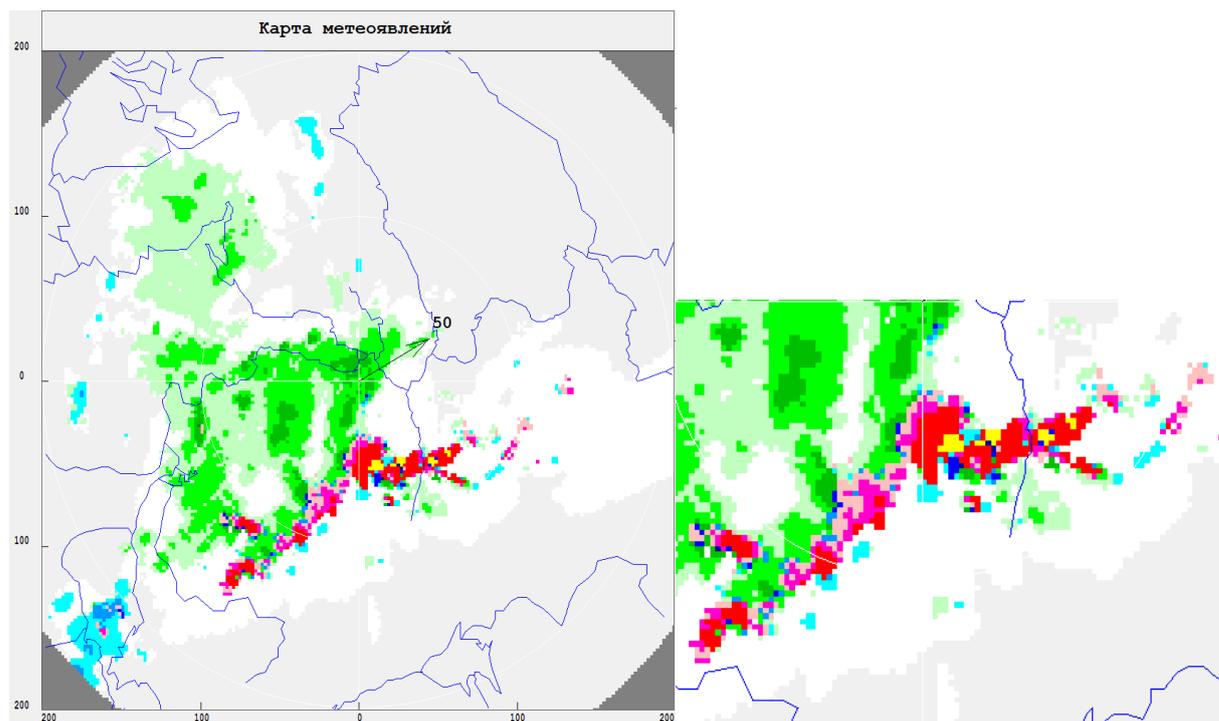


Рисунок 2.4.1 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 12 августа в 18:47

Рисунок 2.4.1 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 50 км/ч.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в южной части от лоатора. В самом Санкт-Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.4.2 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

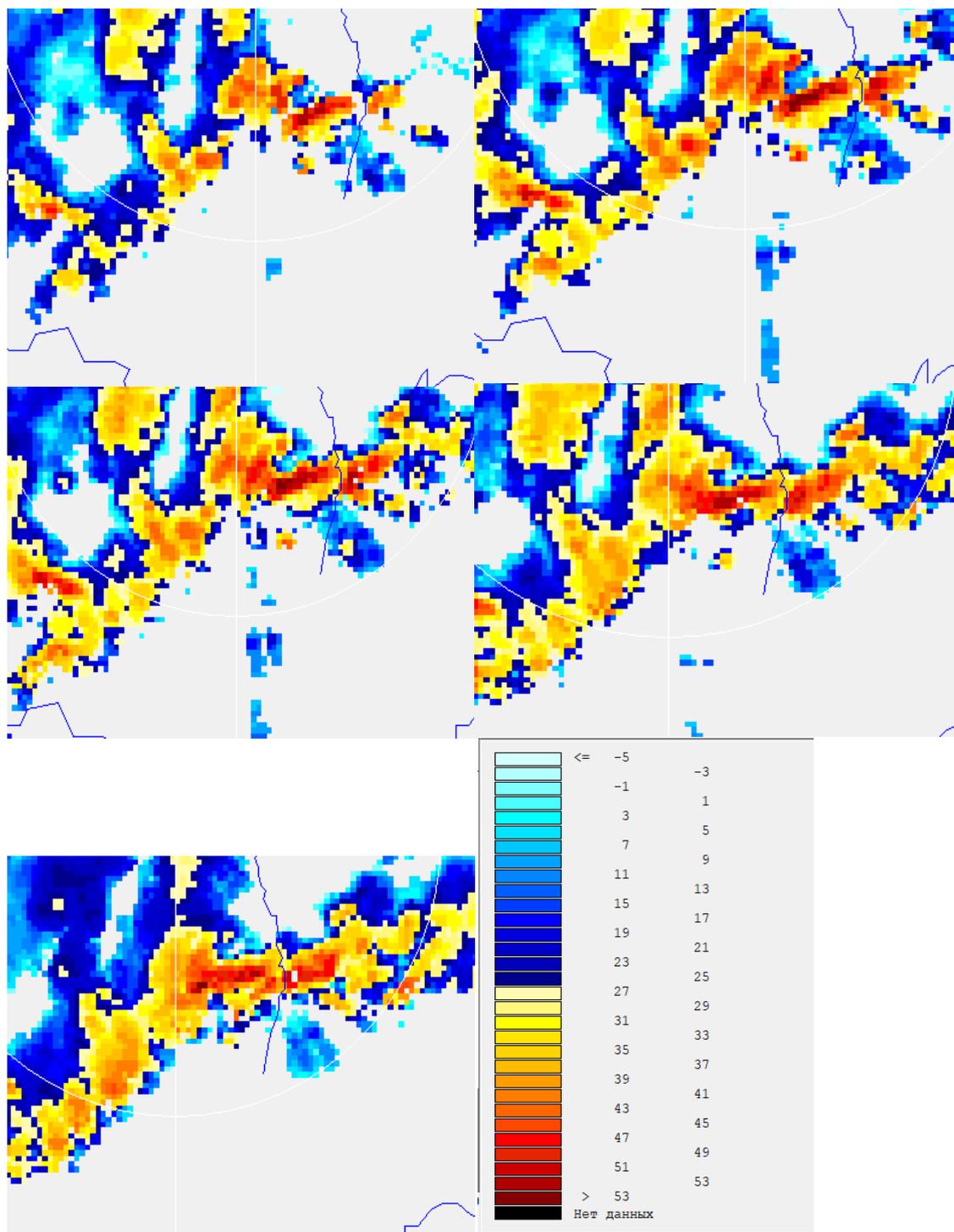


Рисунок 2.4.2 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 5 км и составляла больше 53 dBZ.

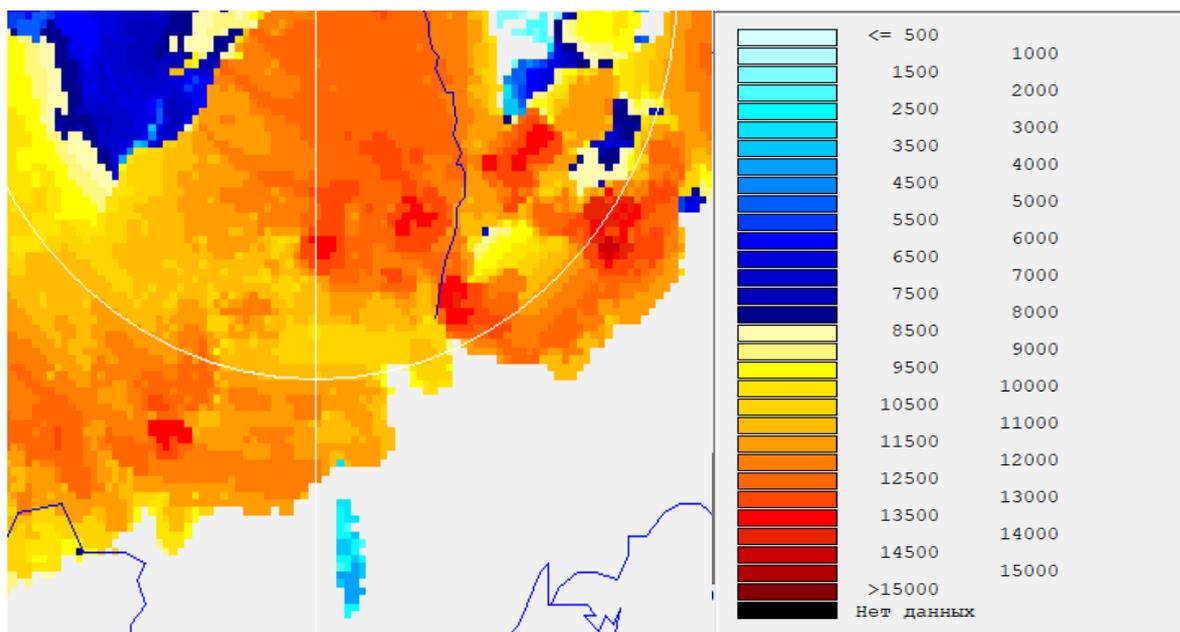


Рисунок 2.4.3 Карта высоты радиоза в данном районе

Рисунок 2.4.3 показал, что максимальная высота радиоза: 13500 м

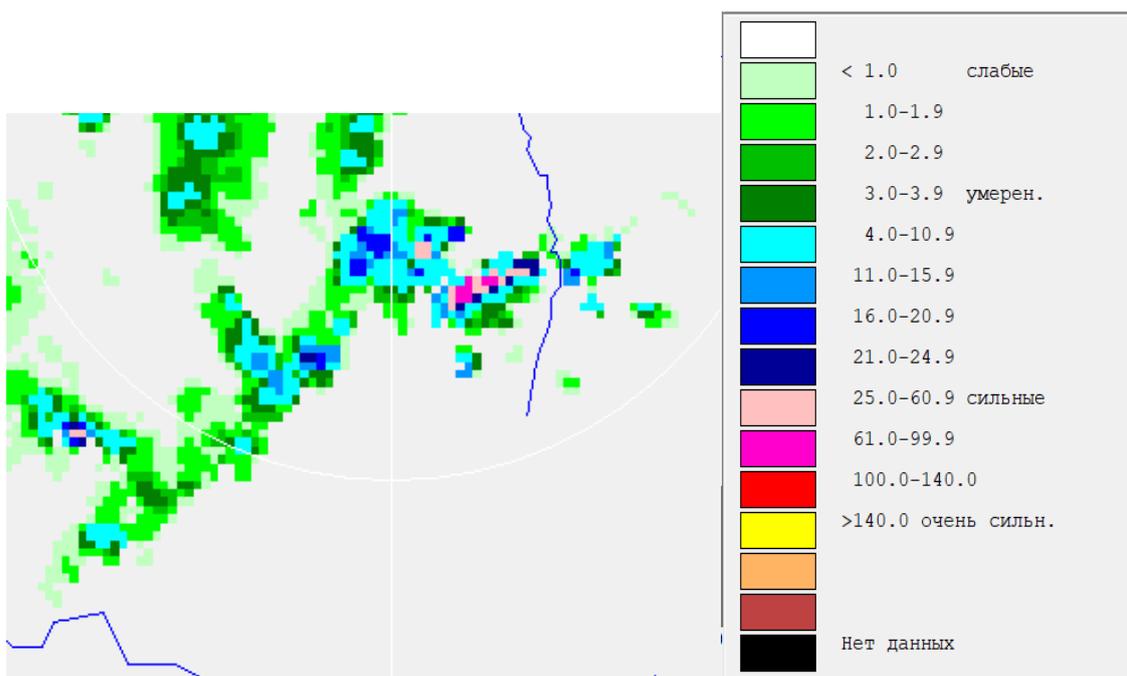


Рисунок 2.4.4 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.4.4 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 61,0 – 99,9 мм/ч.

Эхо – крючок

За 2015 год система «Эхо-крючок» наблюдалось всего 2 раза. Возьмём систему за 6 августа, продолжительность которого была с 18:47 по 19:37 и опишем радиолокационный обзор за 19:16, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

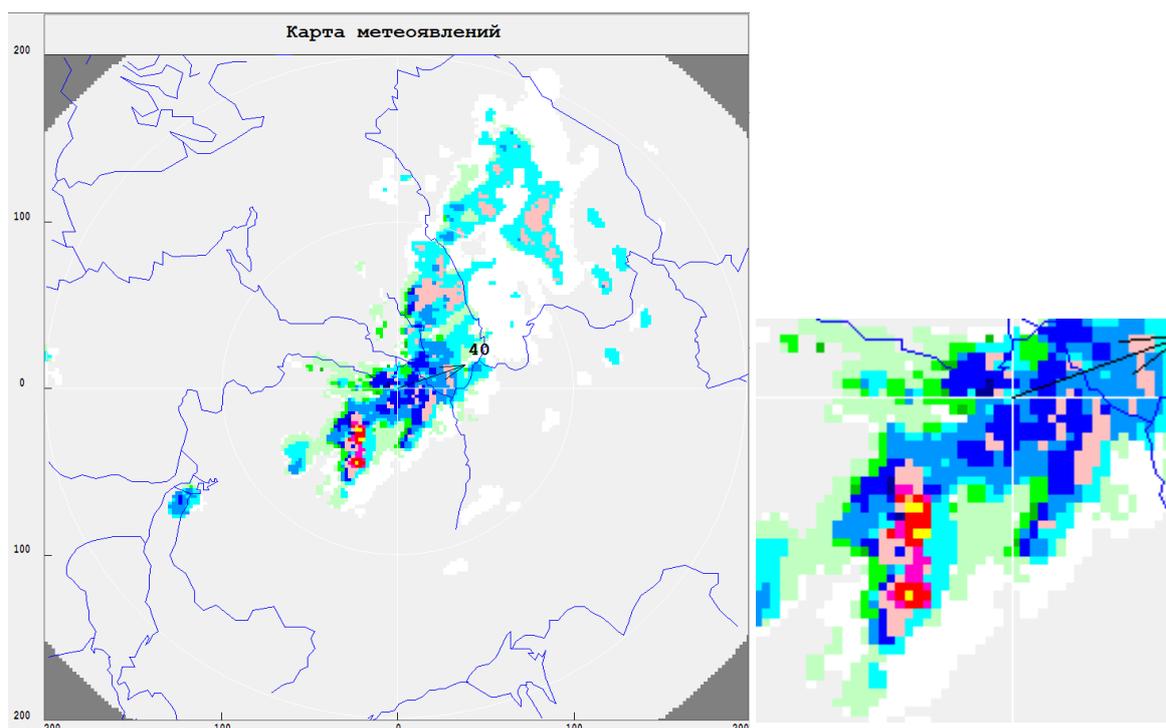


Рисунок 2.4.5 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 6 августа в 19:16

Рисунок 2.4.5 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 40 км/ч.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в юго-западной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы ожидаются с вероятностью 25 процентов.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.4.6 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

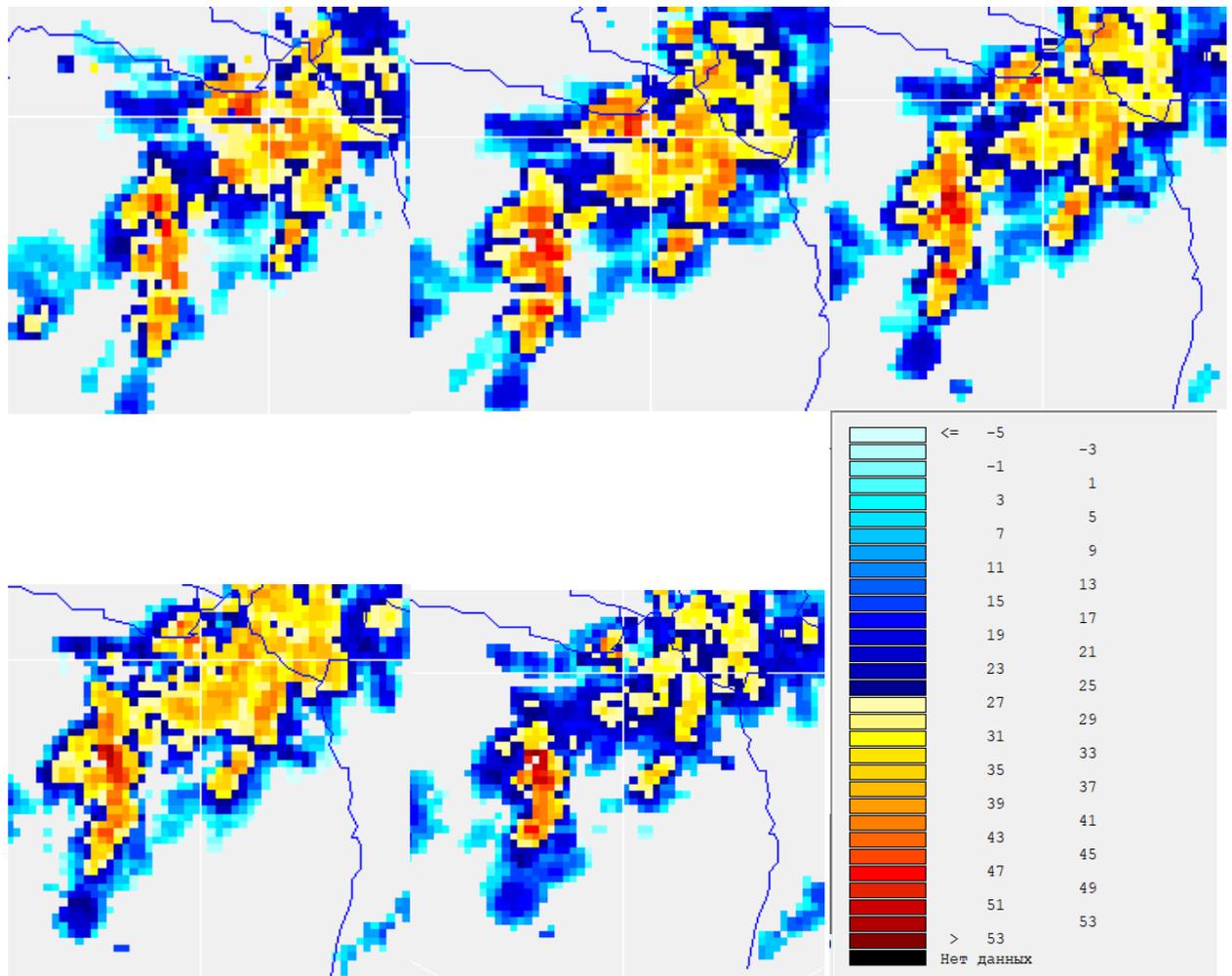


Рисунок 2.4.6 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 4 до 5 км и составляла больше 53 dBZ.

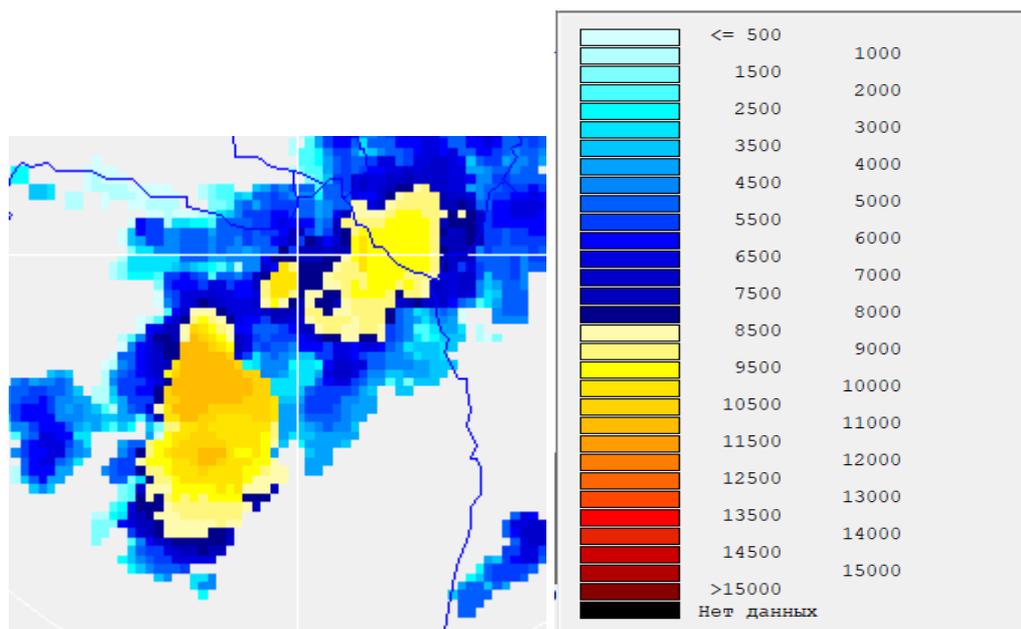


Рисунок 2.4.7 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.4.7 показал, что максимальная высота радиоэха: 10500 м

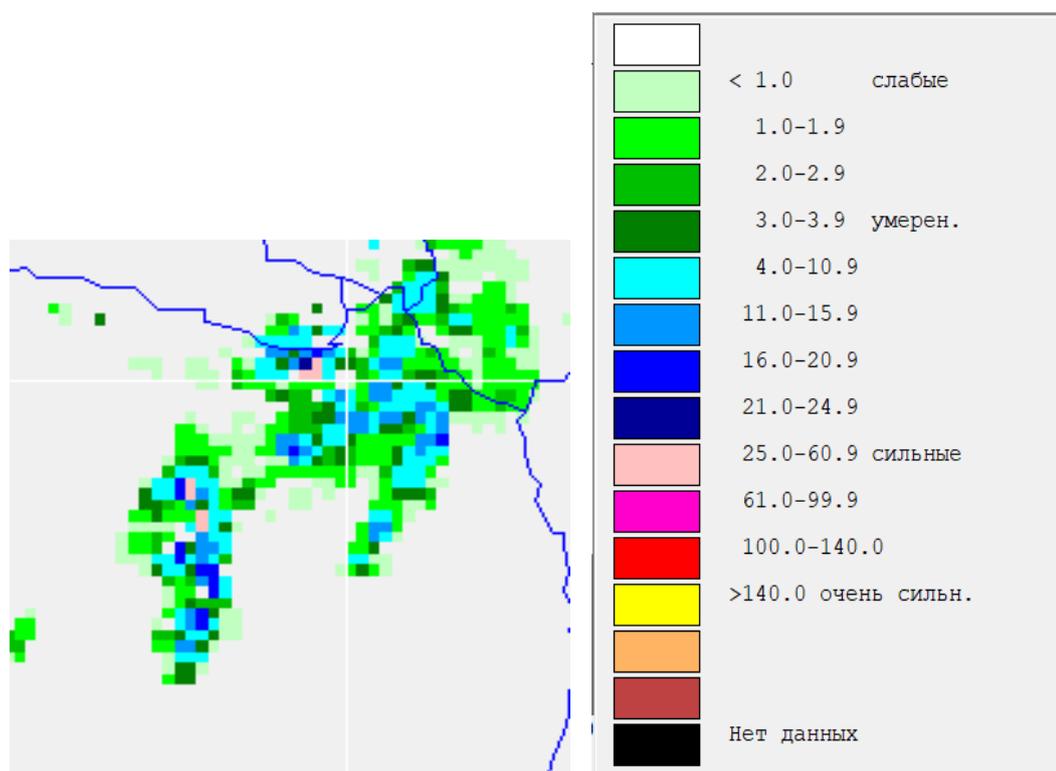


Рисунок 2.4.8 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.4.8 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 25,0 – 60,9 мм/ч.

Линейное эхо

За 2015 год система «Линейное эхо» наблюдалось всего 4 раз. Возьмём систему за 27 мая, продолжительность которого была с 16:17 по 18:37 и опишем радиолокационный обзор за 17:37, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы

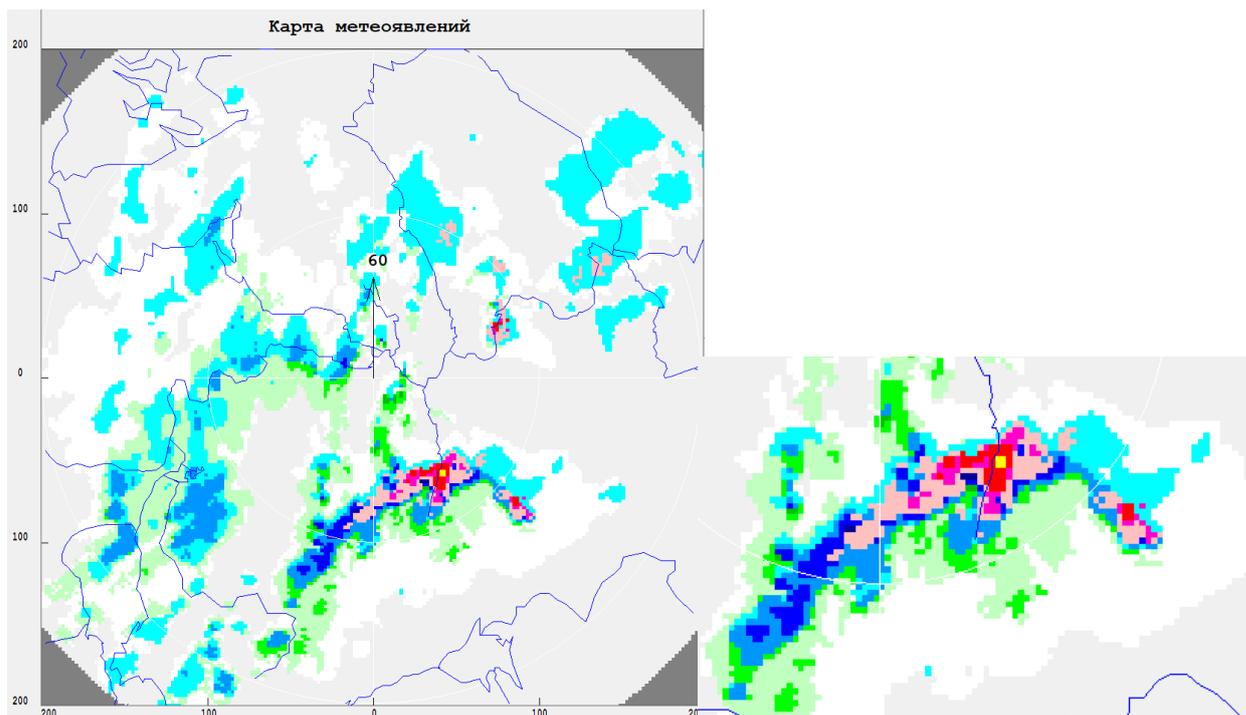


Рисунок 2.4.9 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 27 май в 17:37

Рисунок 2.4.9 показывает, что система смещалась на север, ветер во время смещения явления в среднем была 60 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в южной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.4.10 мы обзрели радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

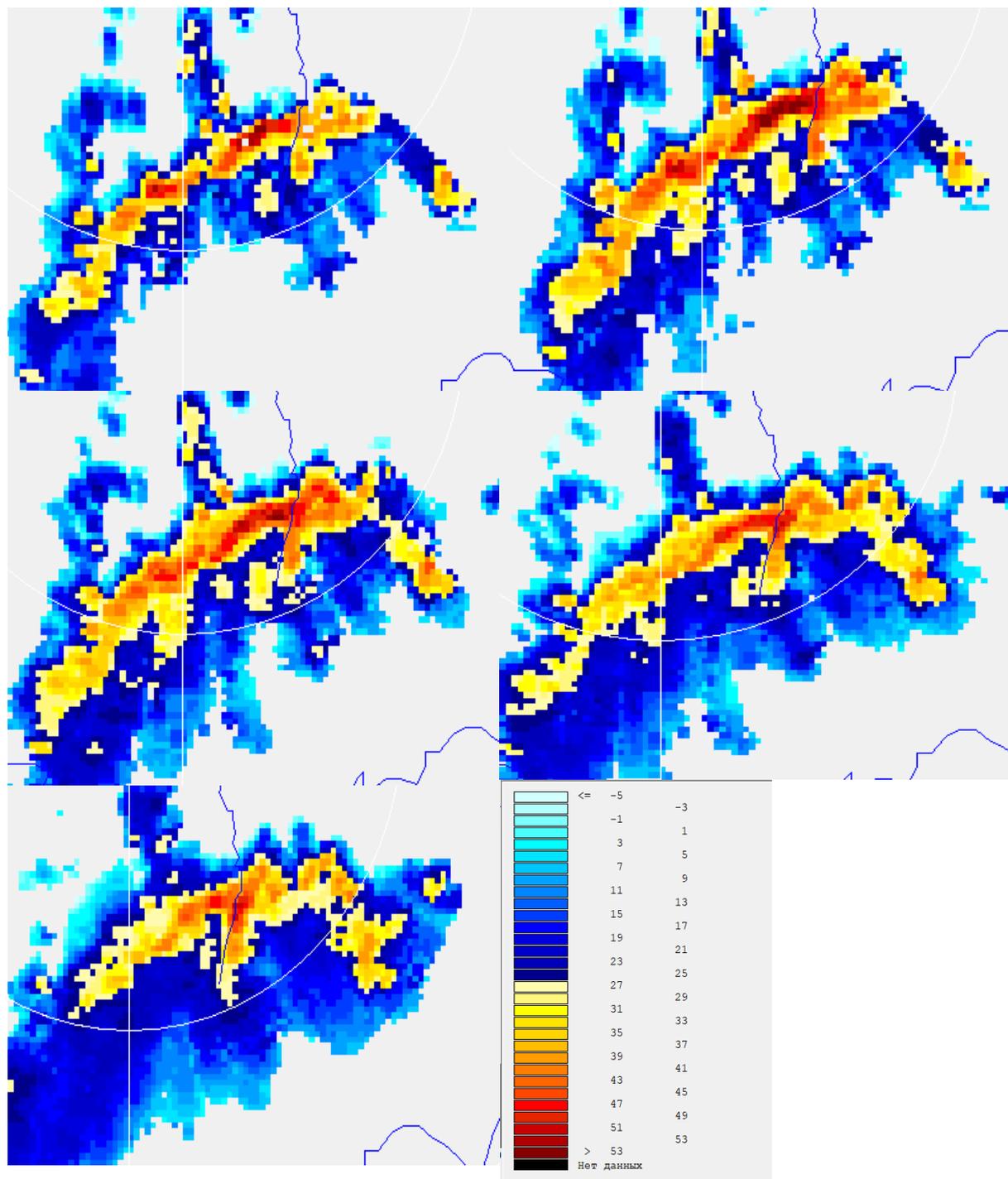


Рисунок 2.4.10 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 2 км и составляла больше 53 dBZ.

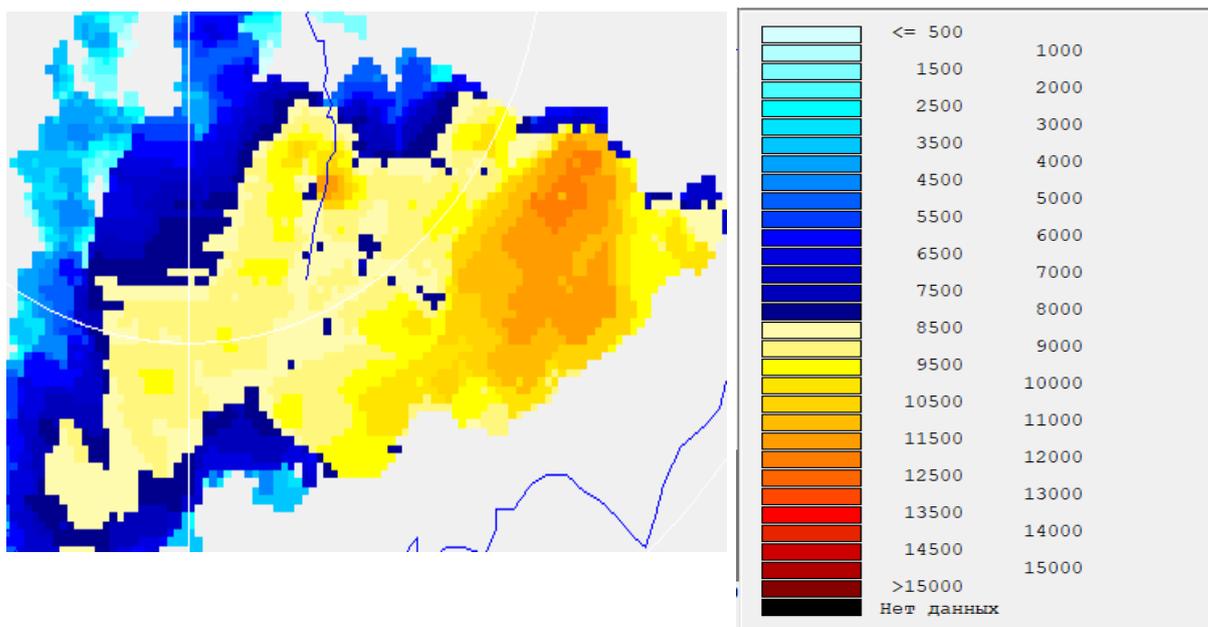


Рисунок 2.4.11 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.4.11 показал, что максимальная высота радиоэха: 12000 м.

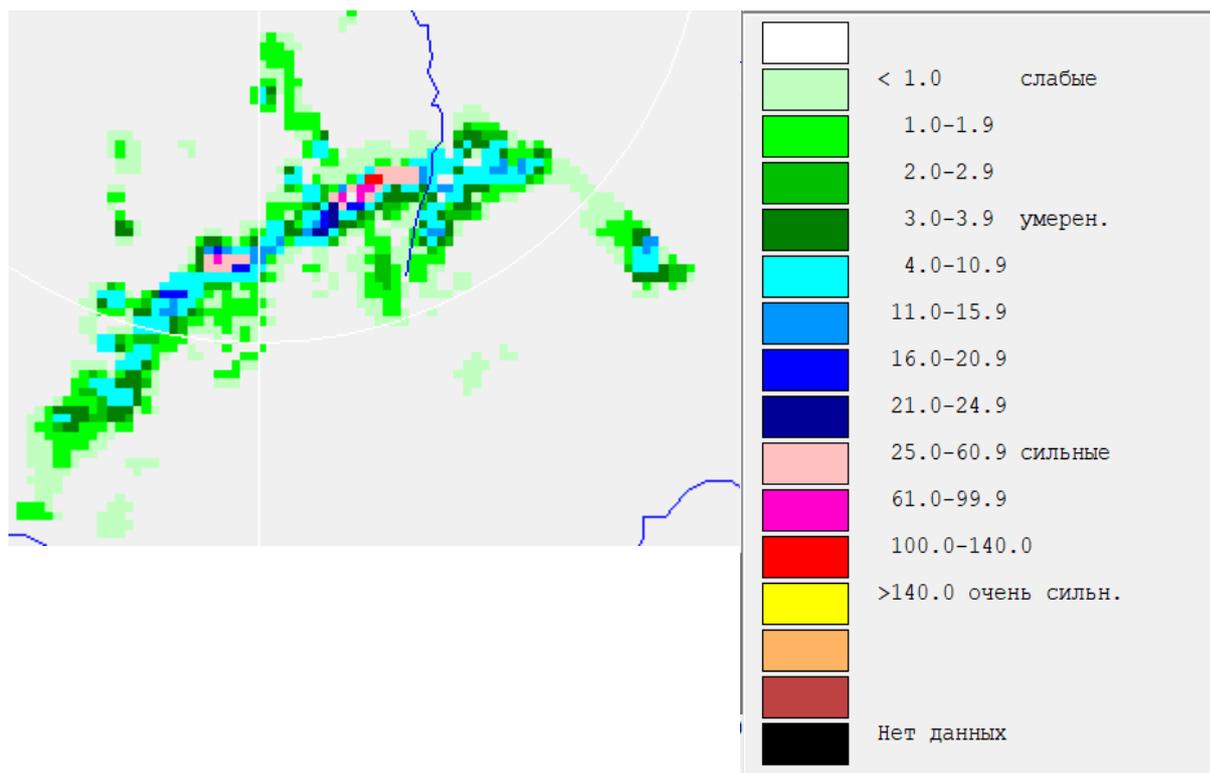


Рисунок 2.4.12 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.4.12 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 61,0–99,9 мм/ч.

V – выемка

За 2015 год система «V-выемка» наблюдалось всего 3 раза. Возьмём систему за 29 августа, продолжительность которого была с 8:36 по 10:06 и опишем радиолокационный обзор за 9:36, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы

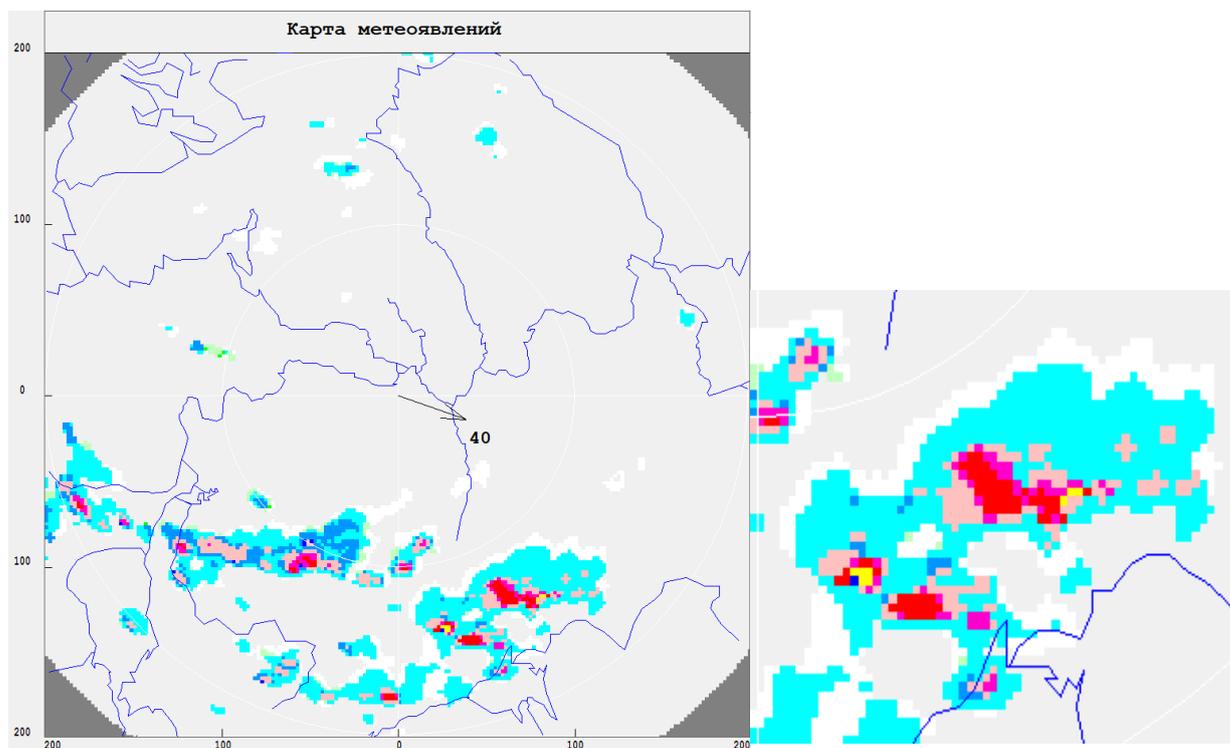


Рисунок 2.4.13 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 29 августа в 9:36

Рисунок 2.4.13 показывает, что система смещалась на юго-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 40 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в юго-восточной части от локатора. В самом Санкт-Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.4.14 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

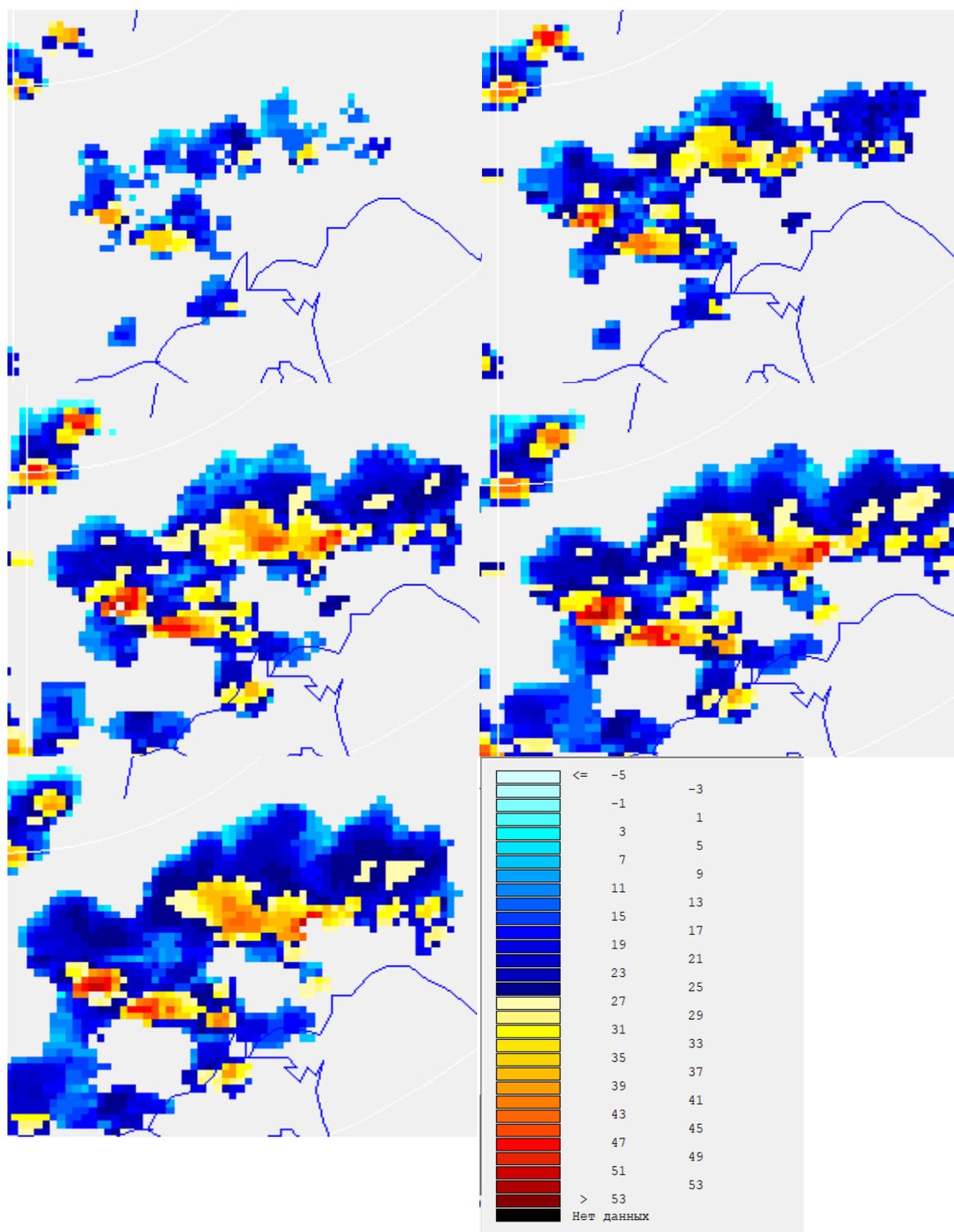


Рисунок 2.4.14 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 3 до 4 км и составляла 53 dBZ.

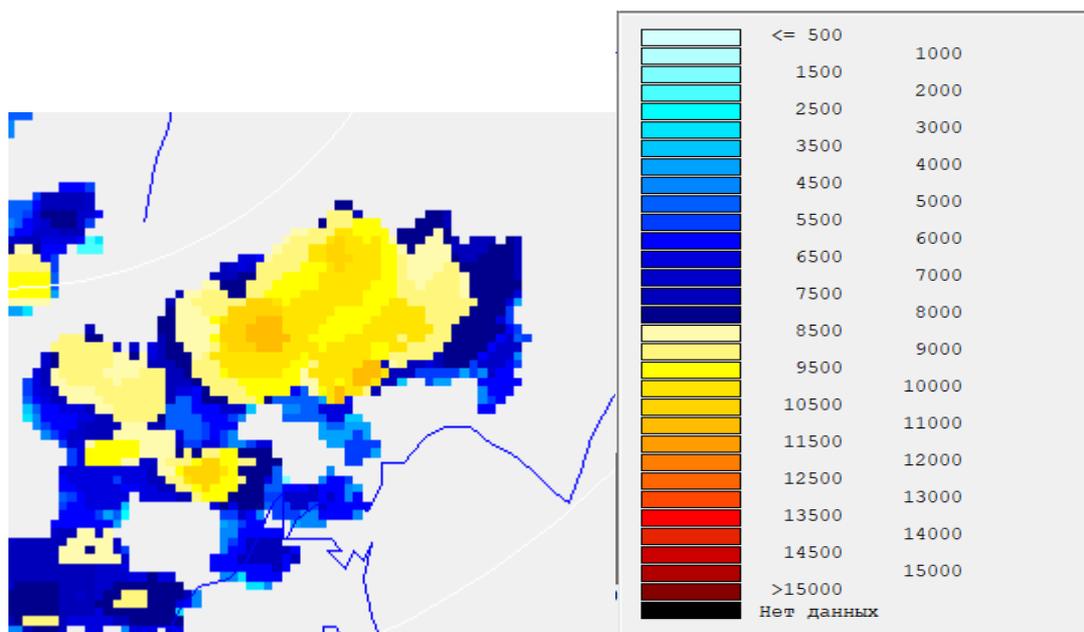


Рисунок 2.4.15 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.4.15 показал, что максимальная высота радиоэха: 10000 м.

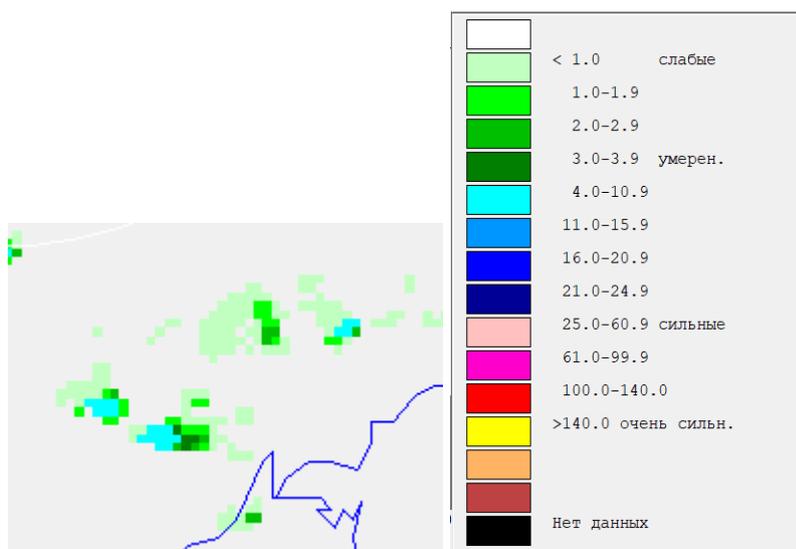


Рисунок 2.4.16 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.4.16 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 4,0 – 10,9 мм/ч.

2.5. Обзор мезомасштабных систем за 2016 год

Эхо – лук

За 2016 год система «Эхо-лук» наблюдалось всего 3 раза. Возьмём систему за 26 июня, продолжительность которого была с 12:06 по 13:06 и опишем радиолокационный обзор за 12:27, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы

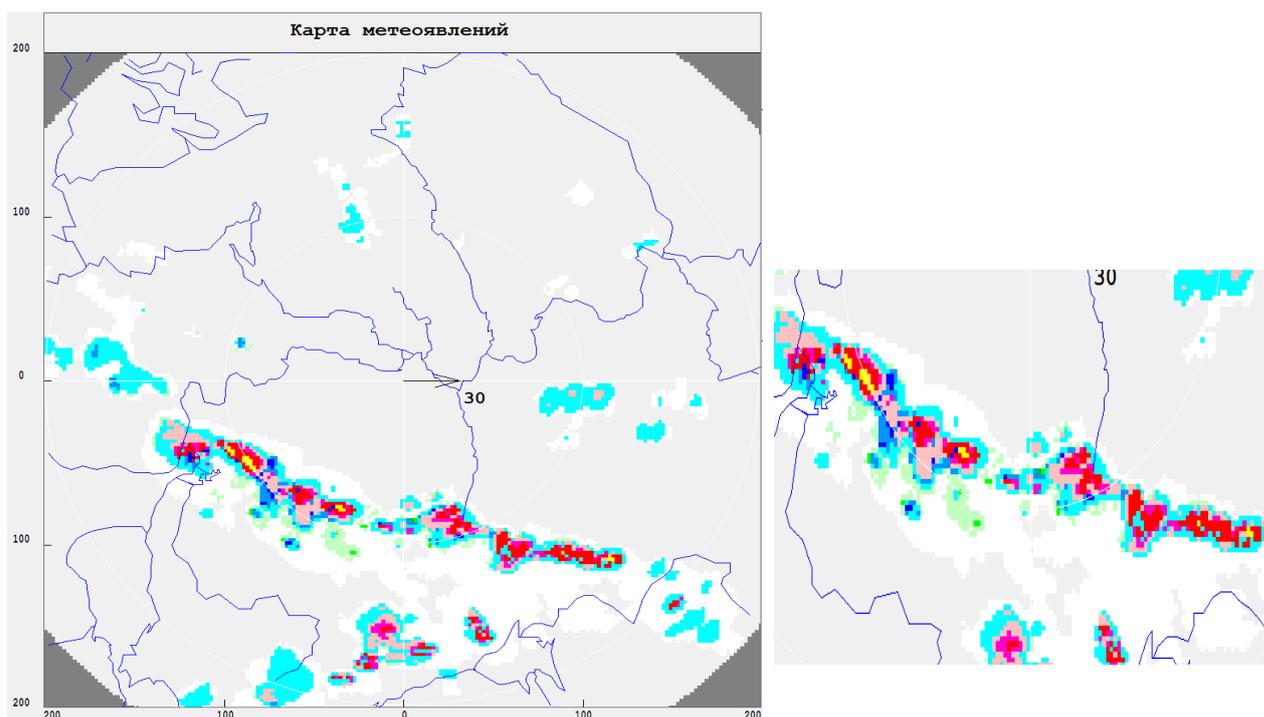


Рисунок 2.5.1 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 26 июня в 12:27

Рисунок 2.5.1 показывает, что система смещалась на восток, ветер во время смещения явления в среднем была 30 км/ч.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в южной части от локатора. В самом Санкт-Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.5.2 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

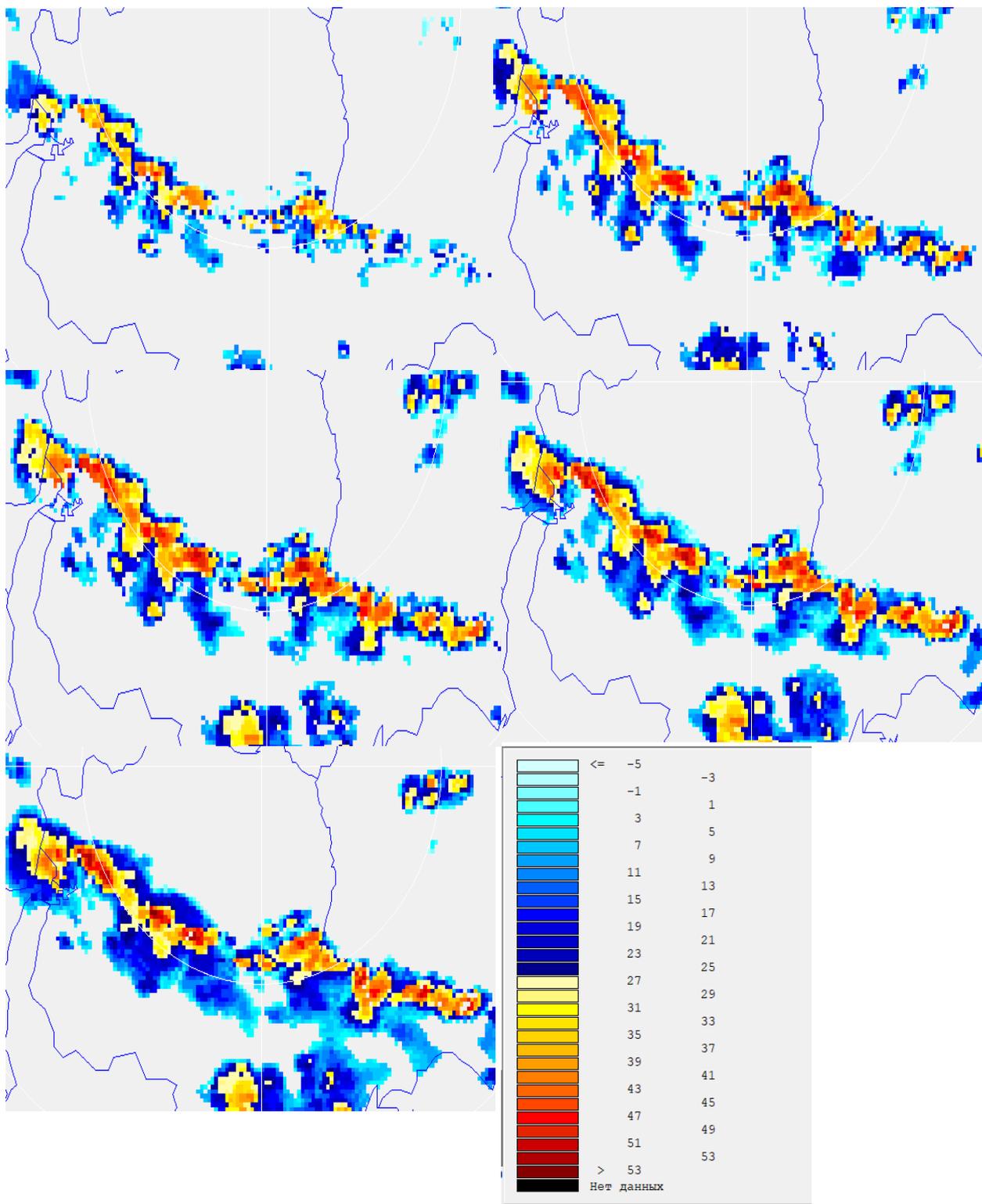


Рисунок 2.5.2 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 4 до 5 км и составляла больше 53 dBZ.

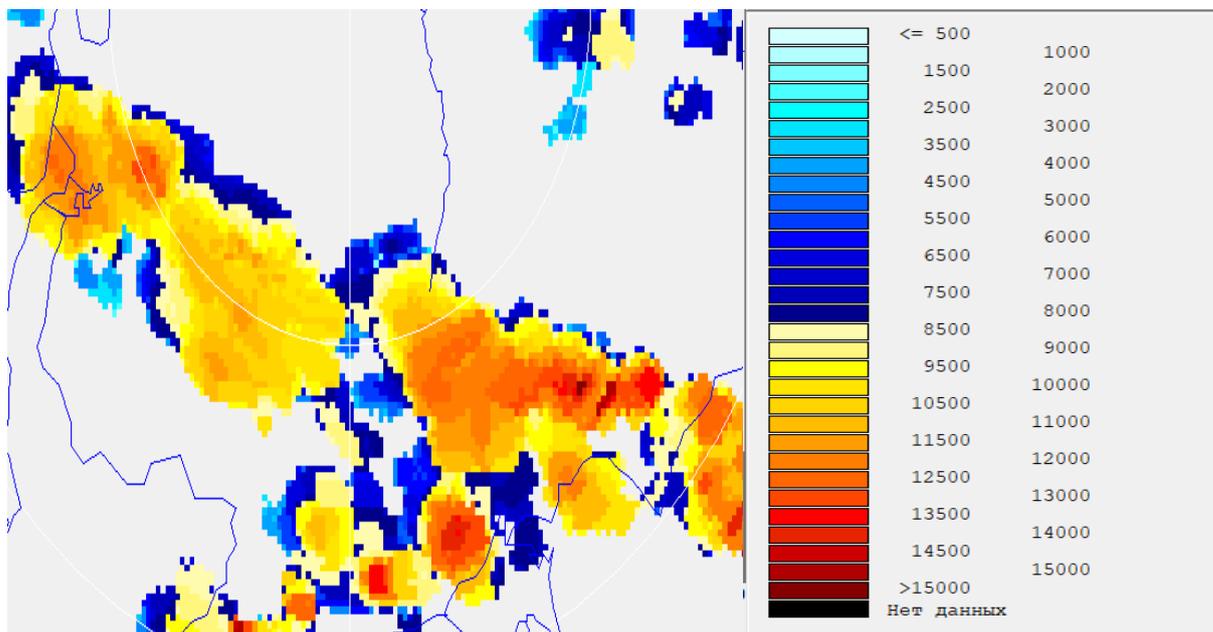


Рисунок 2.5.3 Карта высоты радиозэха в данном районе

Рисунок 2.5.3 показал, что максимальная высота радиозэха: 15000 м.

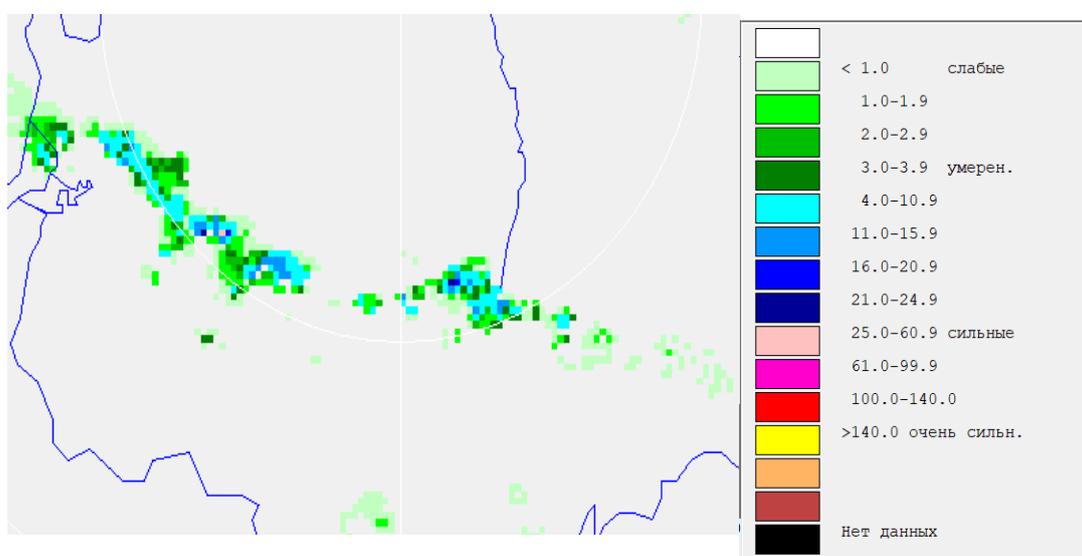


Рисунок 2.5.4 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.5.4 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 25,0–60,9 мм/ч.

Эхо – крючок

За 2016 год система «Эхо-крючок» наблюдалось всего 5 раз. Возьмём систему за 25 мая, продолжительность которого была с 16:37 по 17:47 и опишем радиолокационный обзор за 17:07, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы

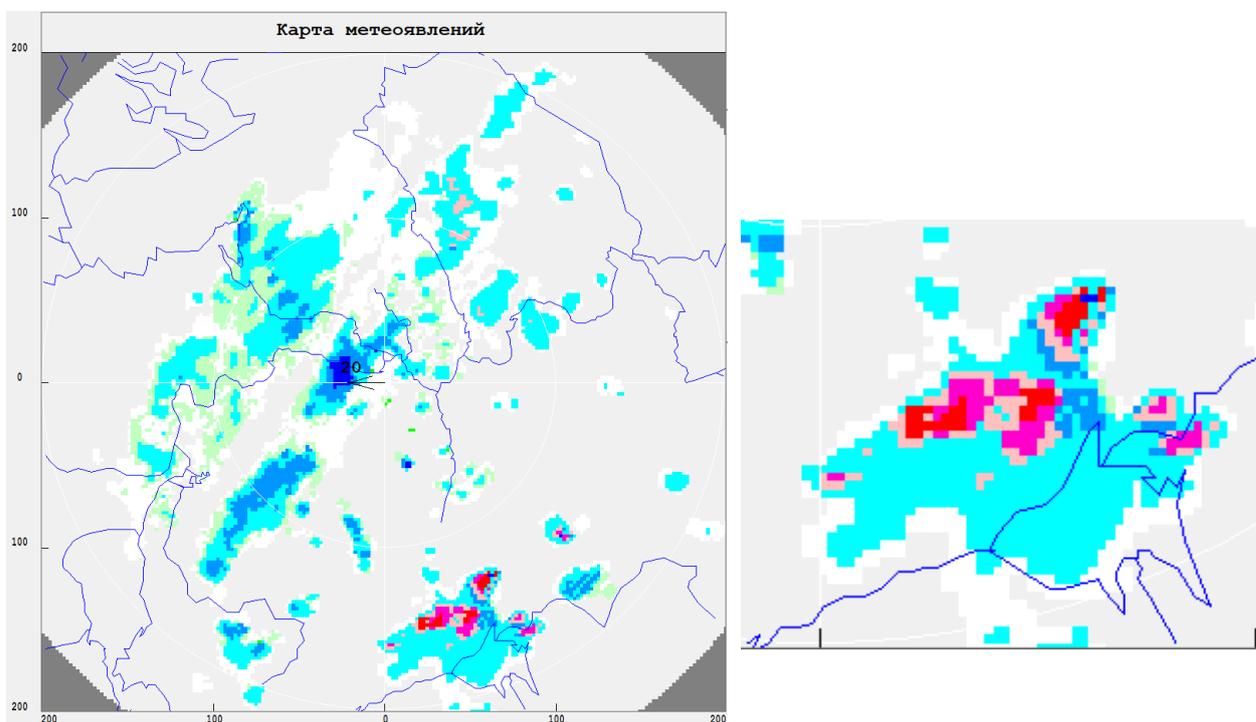


Рисунок 2.5.5 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 25 мая в 17:07

Рисунок 2.5.5 показывает, что система смещалась на запад, ветер во время смещения явления в среднем была 30 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в южной части от локатора. В самом Санкт-Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность

На рисунке 2.5.6 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

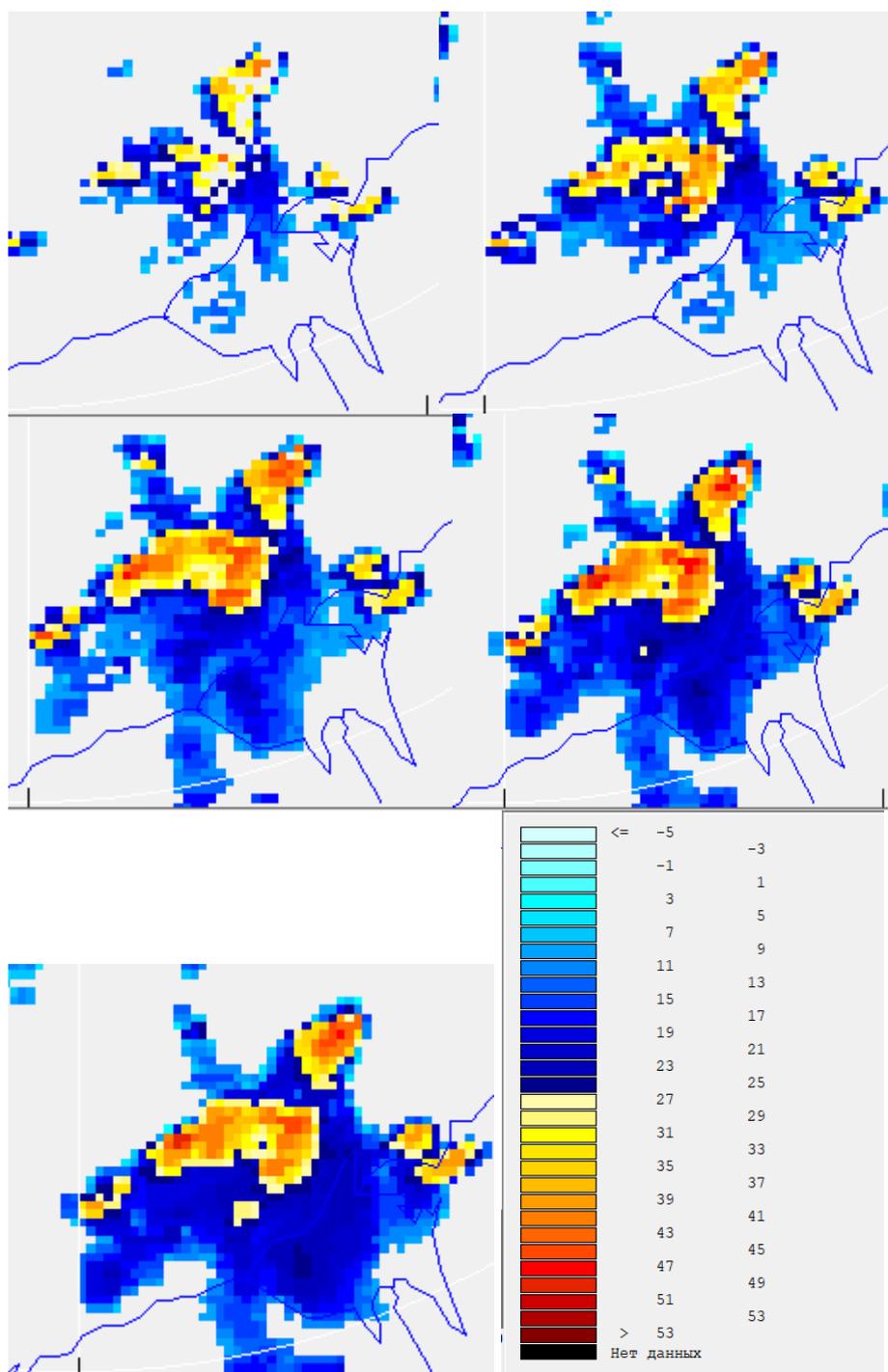


Рисунок 2.5.6 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 3 до 5 км и составляла 49 dBZ.

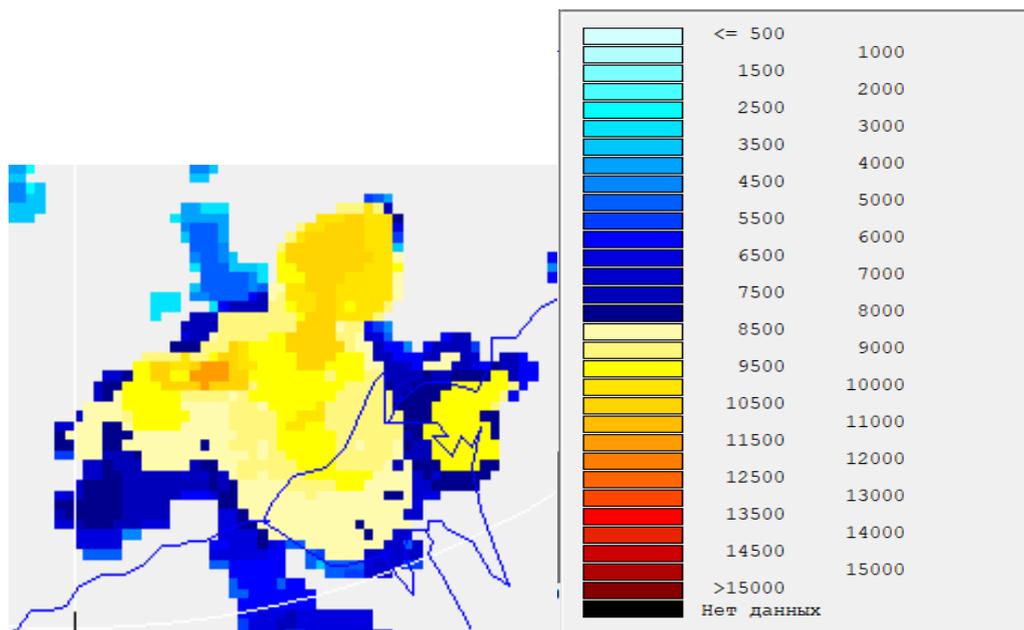


Рисунок 2.5.7 Карта высоты радиозэха в данном районе

Рисунок 2.5.7 показал, что максимальная высота радиозэха: 11000 м.

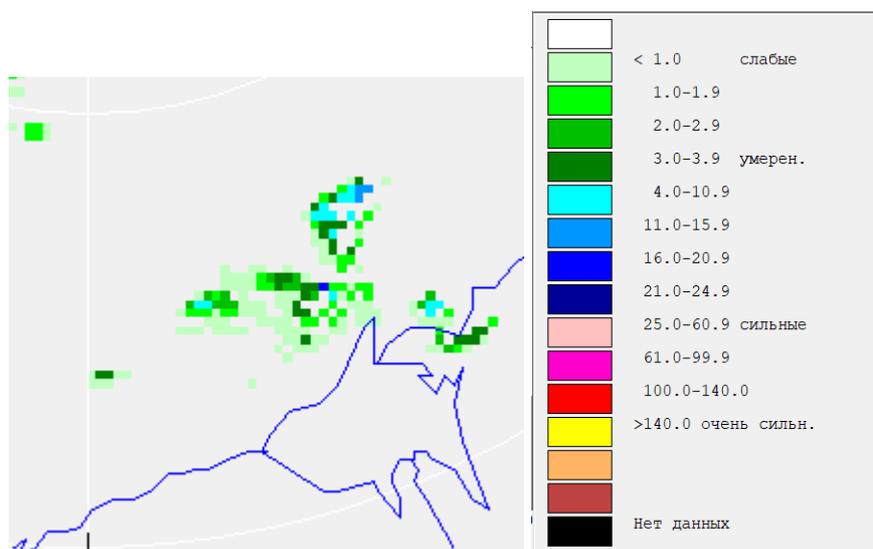


Рисунок 2.5.8 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.5.8 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 21,0 – 24,9 мм/ч.

Линейное эхо

За 2016 год система «Линейное эхо» наблюдалось всего 4 раза. Возьмём систему за 15 июля, продолжительность которого была с 14:57 по 15:57 и опишем радиолокационный обзор за 15:07, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

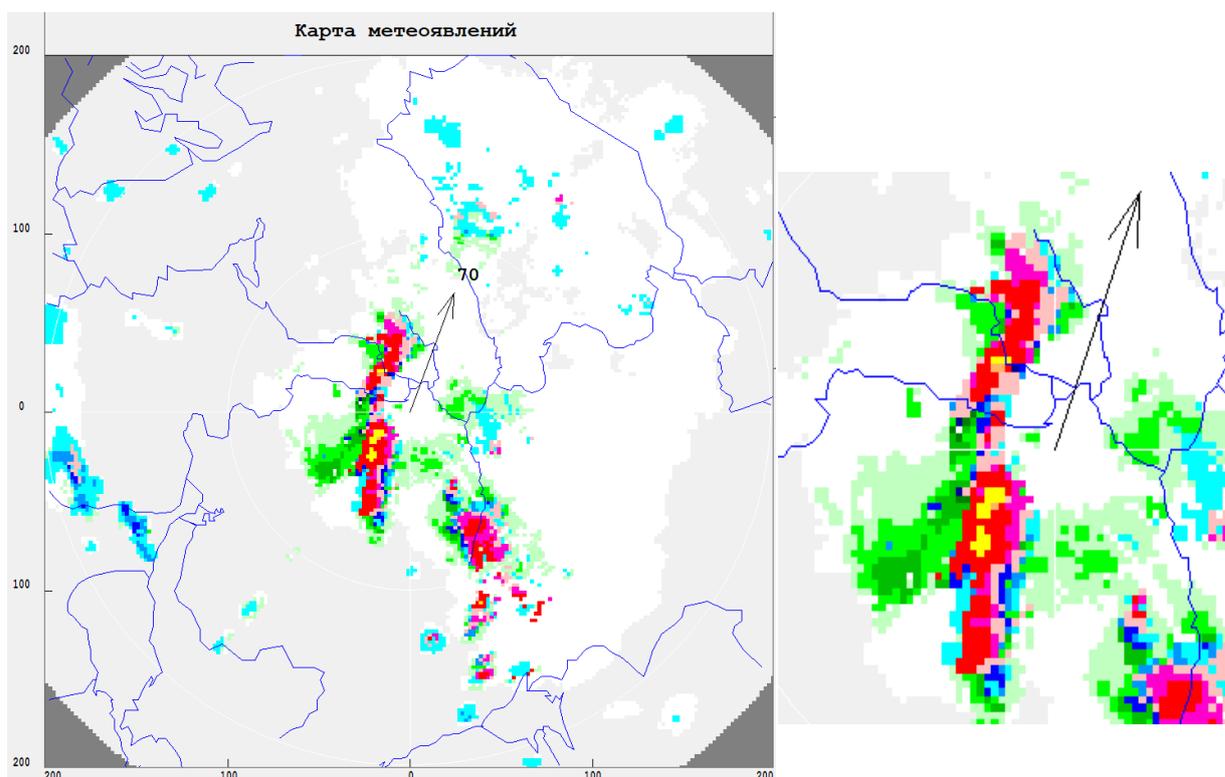


Рисунок 2.5.9 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 15 июля в 15:07

Рисунок 2.5.9 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 70 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в южной части от локатора. В самом Санкт-Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и слабым или умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.5.10 мы обзрели радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

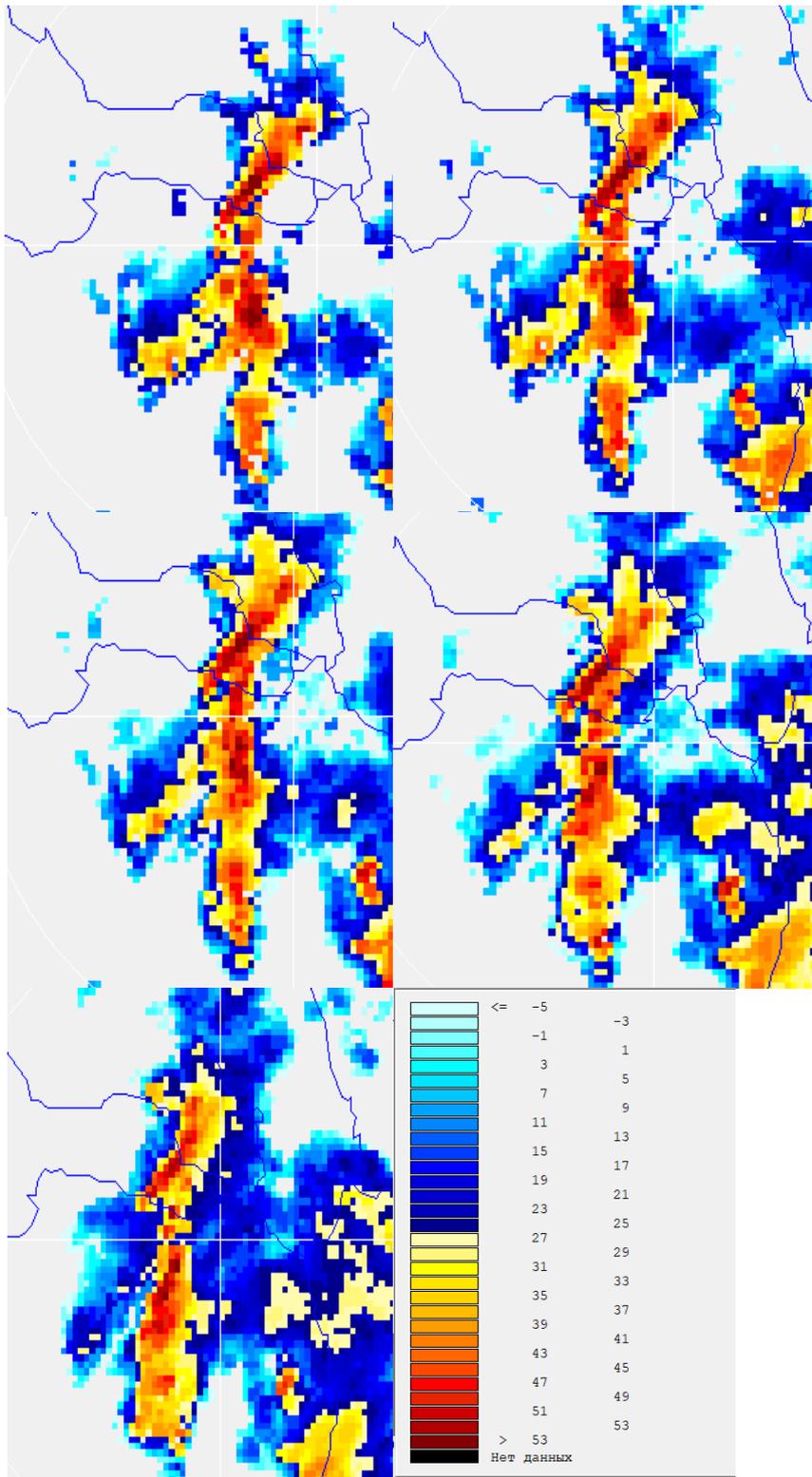


Рисунок 2.5.10 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 5 км и составляла больше 53 dBZ.

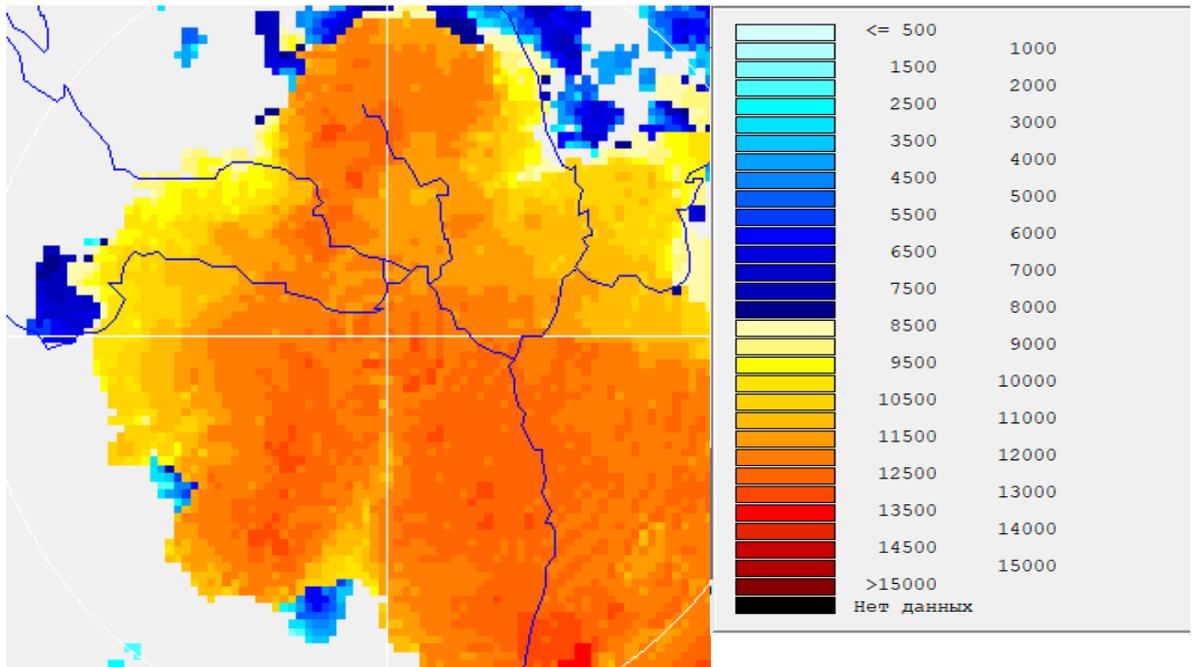


Рисунок 2.5.11 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.5.11 показал, что максимальная высота радиоэха: 13000 м.

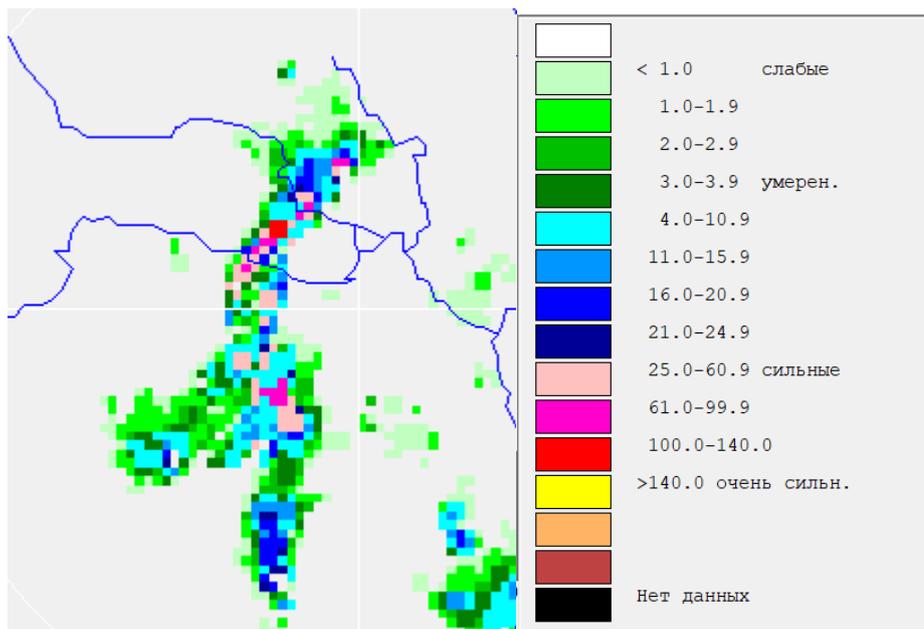


Рисунок 2.5.12 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.5.12 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 100,0–140,0 мм/ч.

V - выемка

За 2016 год система «V-выемка» наблюдалось всего 3 раза. Возьмём систему за 21 июля, продолжительность которого была с 12:07 по 13:07 и опишем радиолокационный обзор за 15:07, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

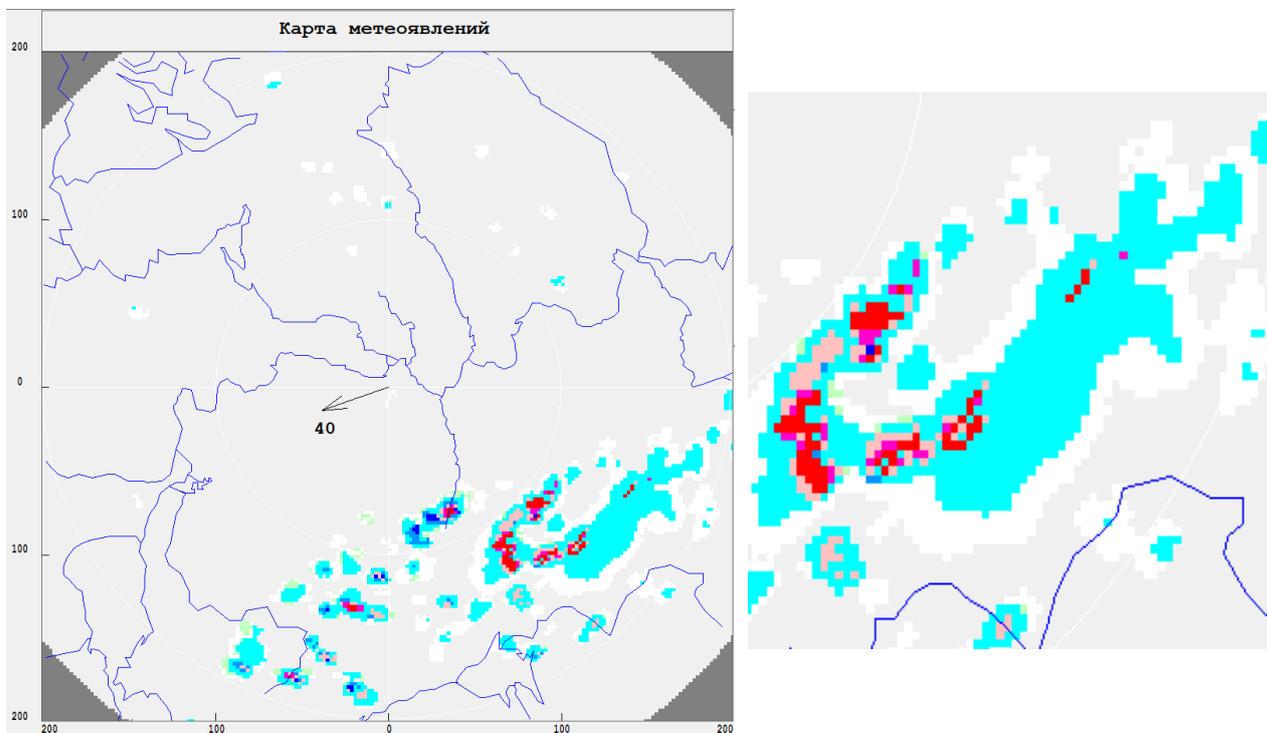


Рисунок 2.5.13 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 21 июля в 12:07

Рисунок 2.5.13 показывает, что система смещалась на юго-запад, ветер во время смещения явления в среднем была 40 км/ч.

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в юго-восточной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.5.14 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

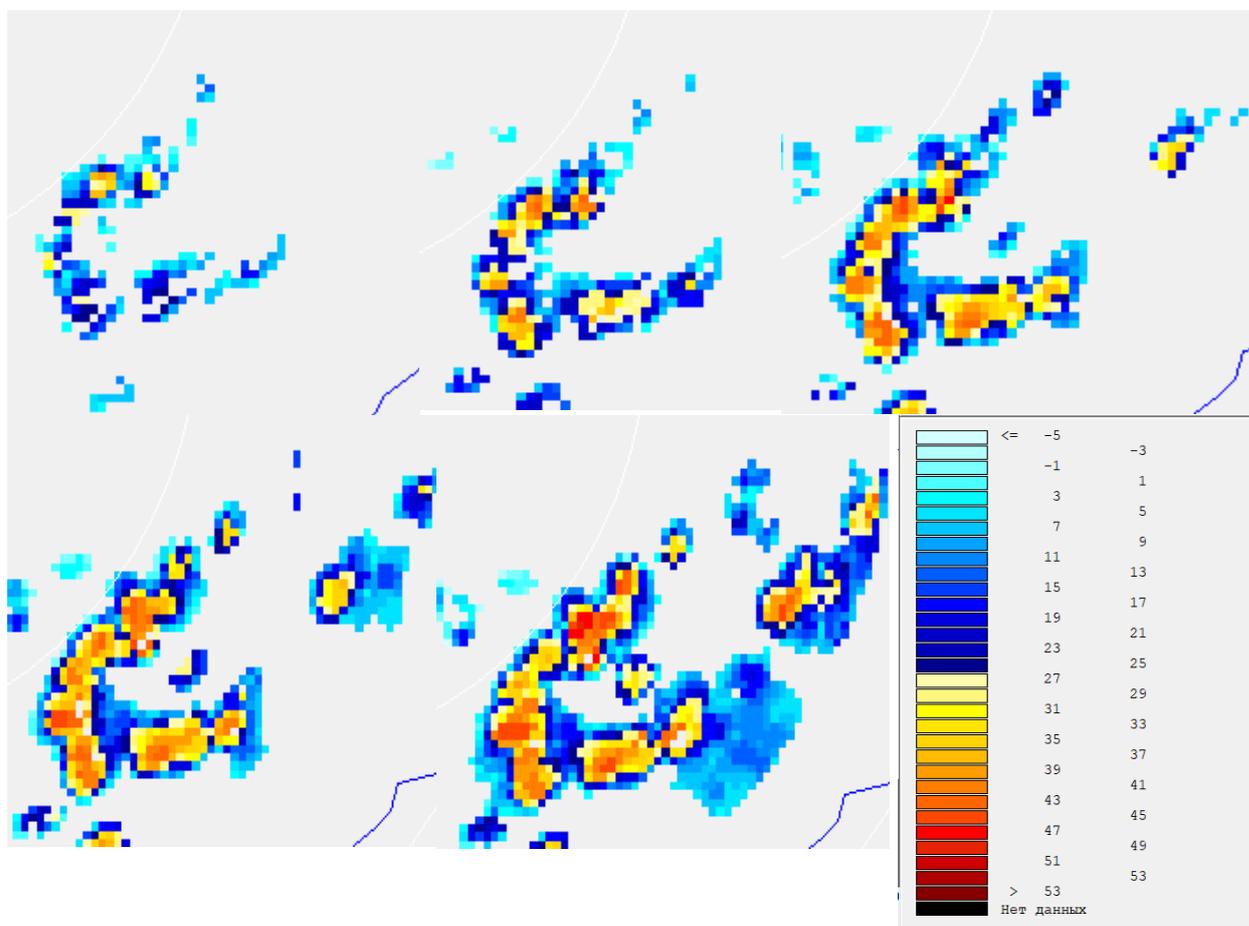


Рисунок 2.5.14 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 4 до 5 км и составляла 49 dBZ.

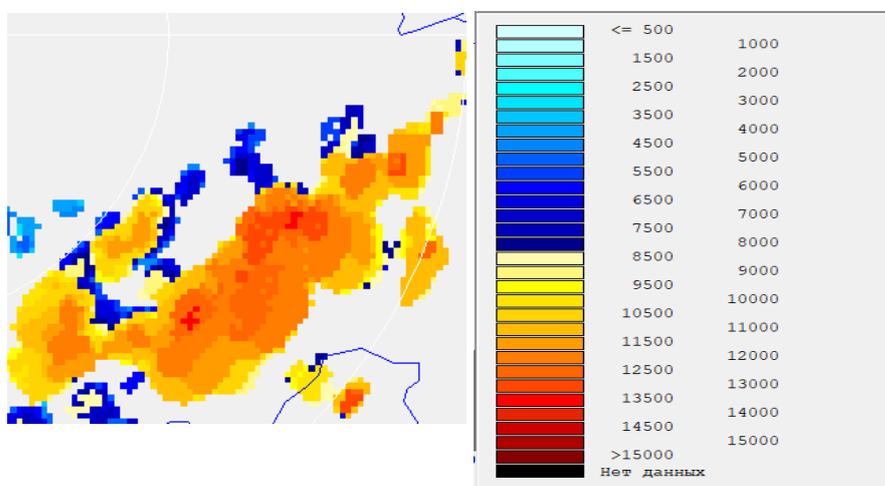


Рисунок 2.5.15 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.5.15 показал, что максимальная высота радиоэха: 13500 м.

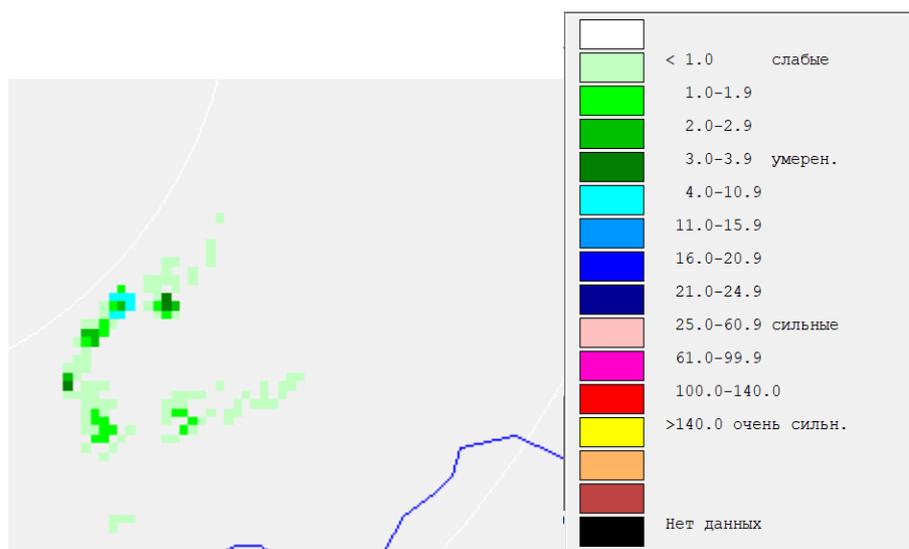


Рисунок 2.5.16 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.5.16 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 4,0 – 10,9 мм/ч.

2.6. Обзор мезомасштабных систем за 2017 год

Эхо – лук

За 2017 год система «Эхо-лук» наблюдалось всего 1 раз. Возьмём систему за 28 июля, продолжительность которого была с 14:47 по 16:07 и опишем радиолокационный обзор за 15:07, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

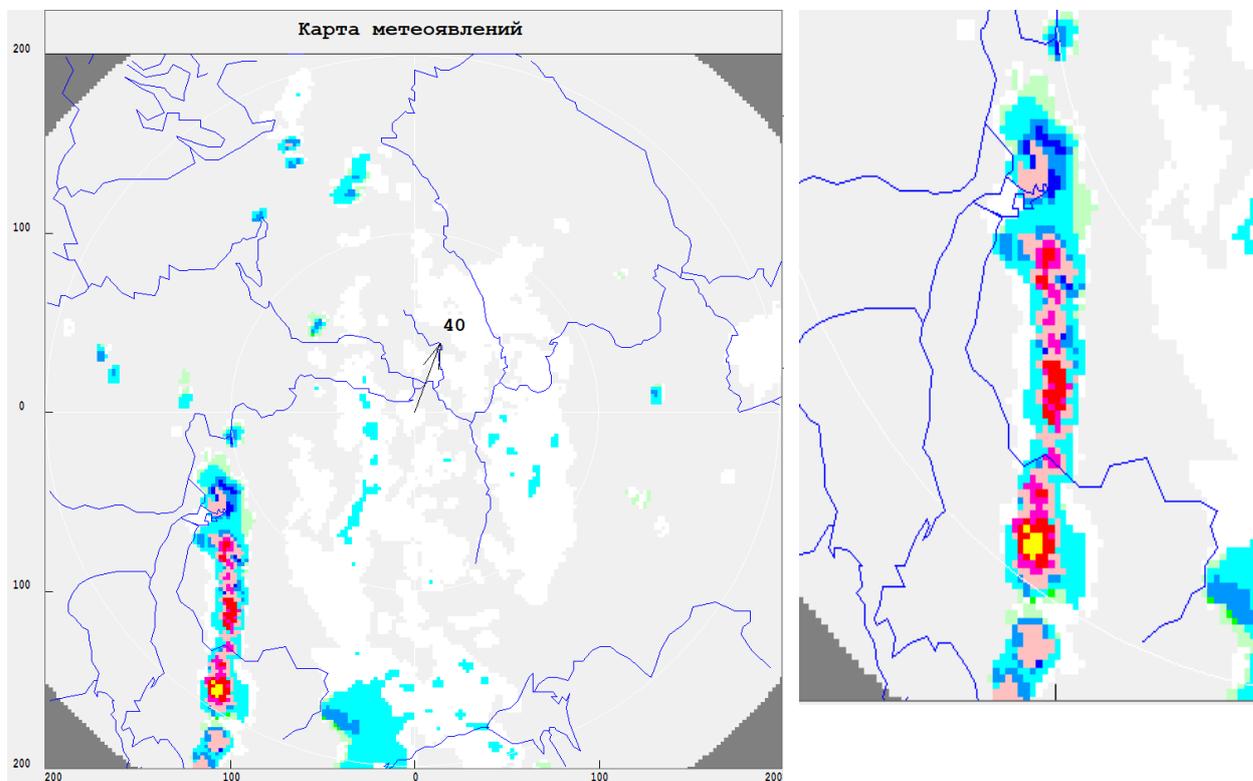


Рисунок 2.6.1 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 28 июля в 15:07

Рисунок 2.6.1 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 40 км/ч.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в юго-западной части от лоатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.6.2 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

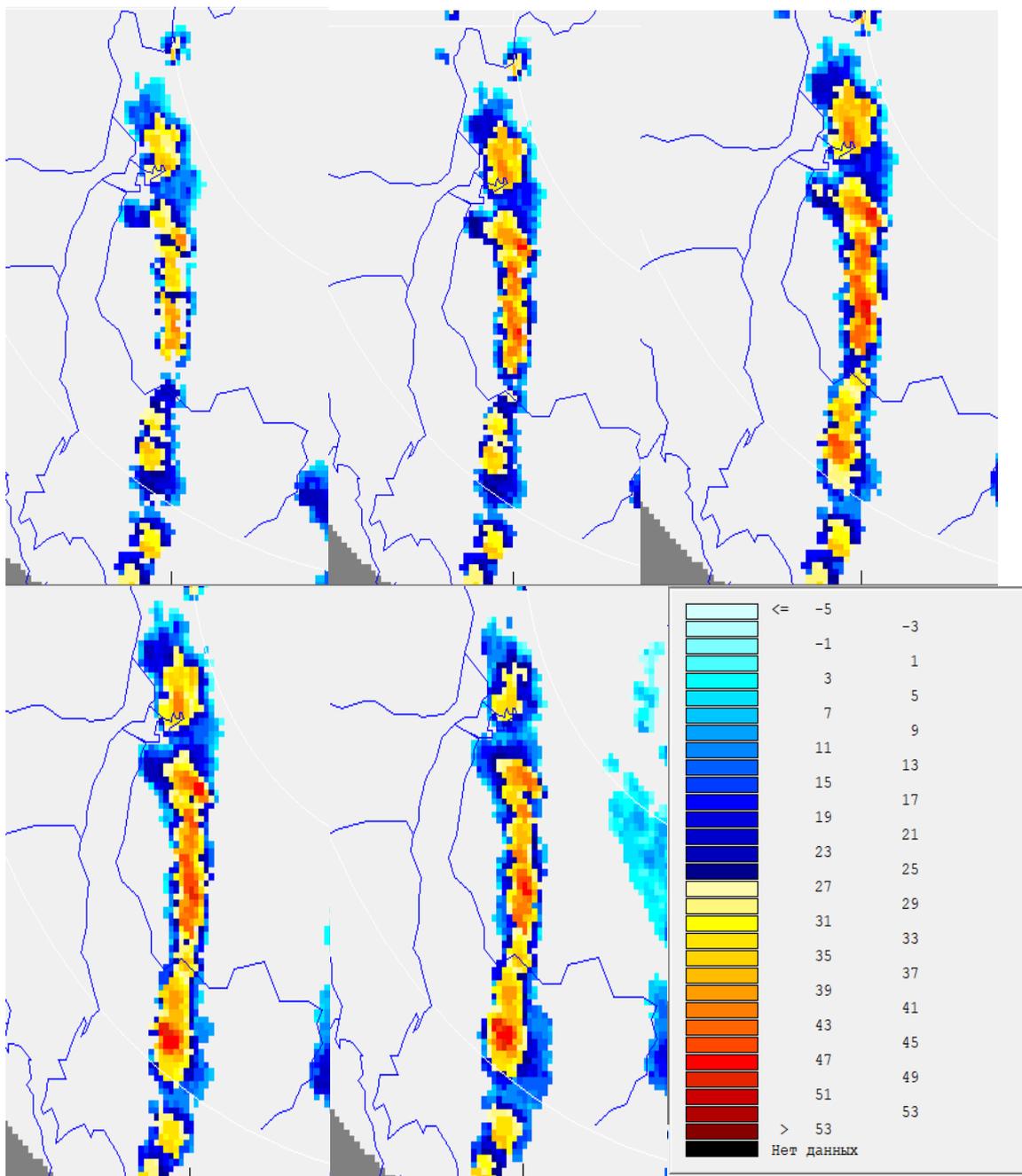


Рисунок 2.6.2 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 3 до 5 км и составляла 49 dBZ.

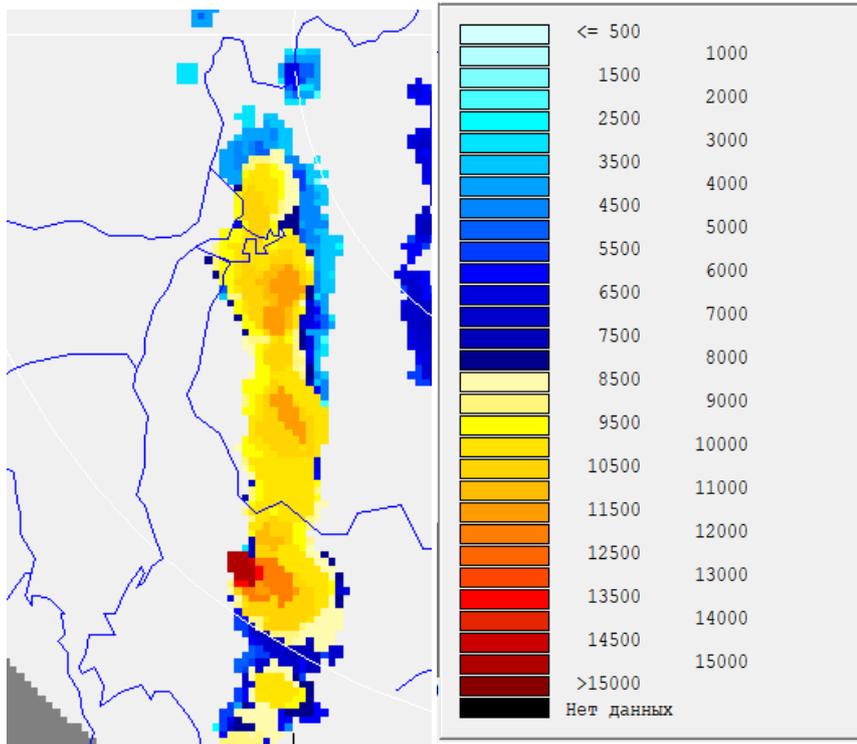


Рисунок 2.6.3 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.6.3 показал, что максимальная высота радиоэха: 15000 м.

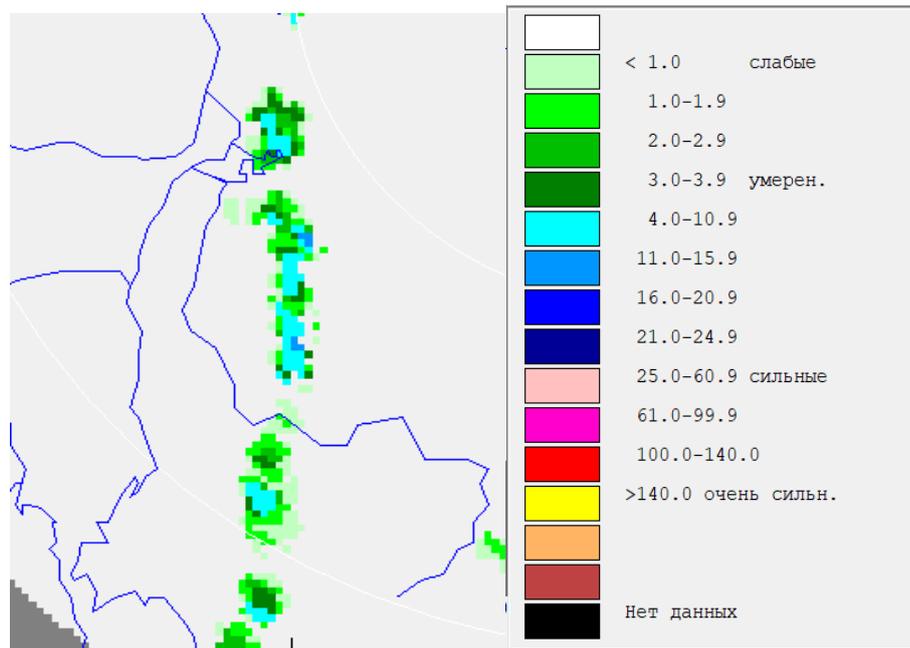


Рисунок 2.6.4 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.6.4 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 4,0 – 10,9 мм/ч.

Эхо – крючок

За 2017 год система «Эхо-крючок» наблюдалось всего 5 раз. Возьмём систему за 22 июля, продолжительность которого была с 11:07 по 16:07 и опишем радиолокационный обзор за 11:37, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

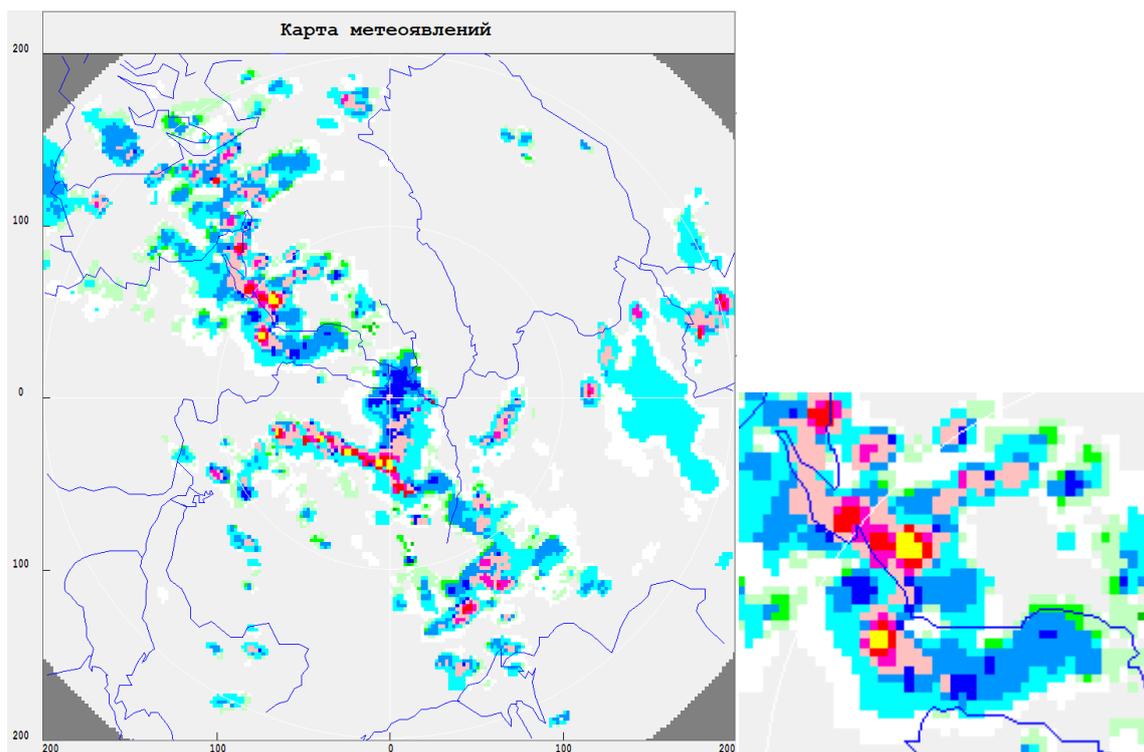


Рисунок 2.6.5 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 22 июля в 11:37

Рисунок 2.6.5 показывает, что система не смещалась.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в северо-западной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.6.6 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

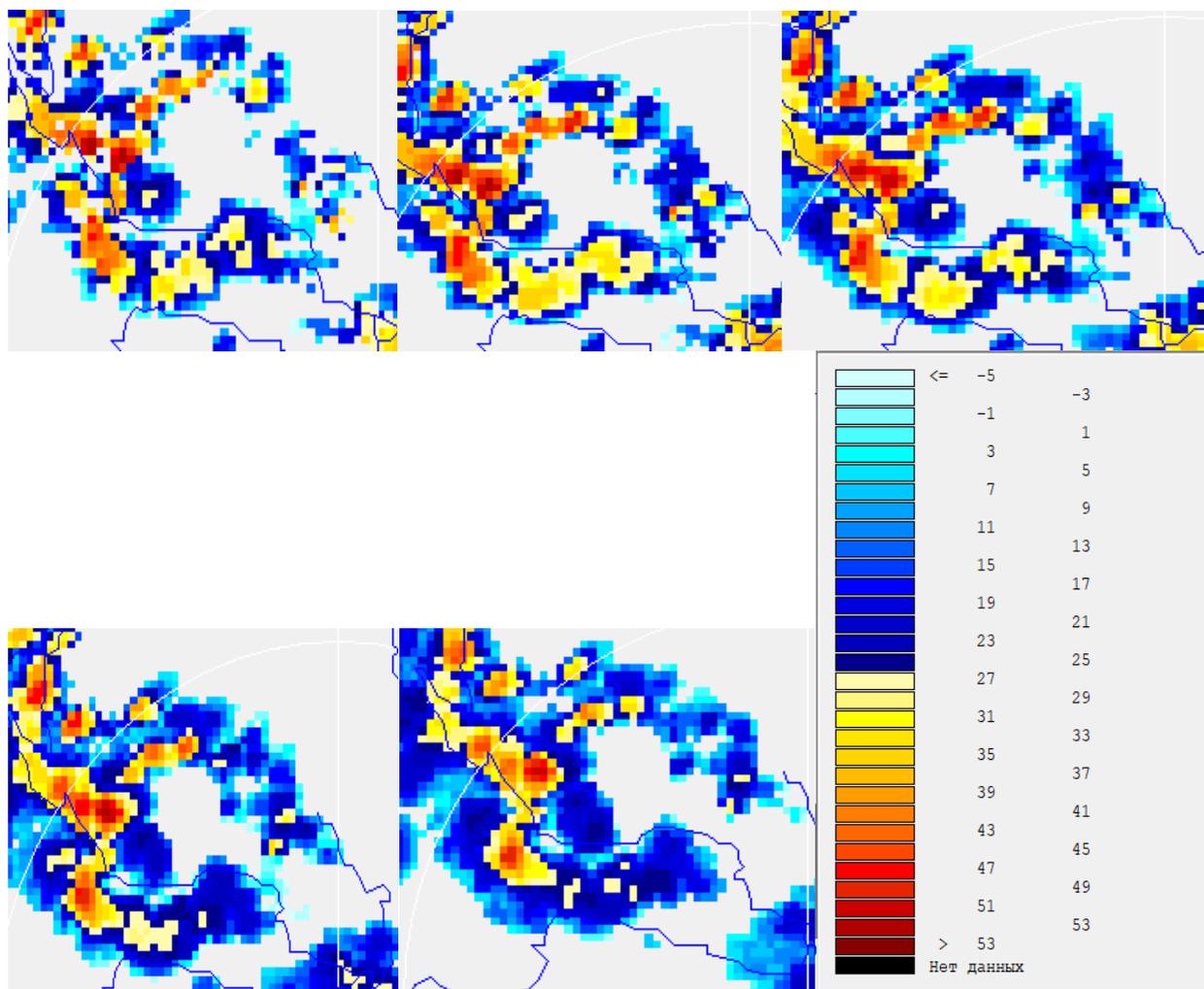


Рисунок 2.6.6 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 5 км и составляла 53 dBZ.

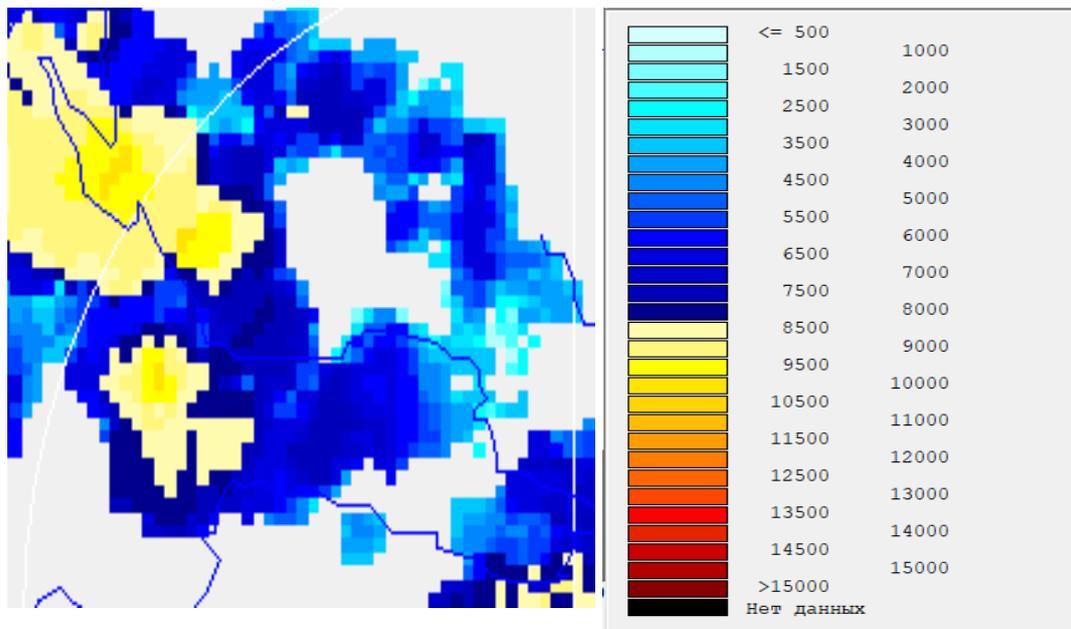


Рисунок 2.6.7 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.6.7 показал, что максимальная высота радиоэха: 9500 м.

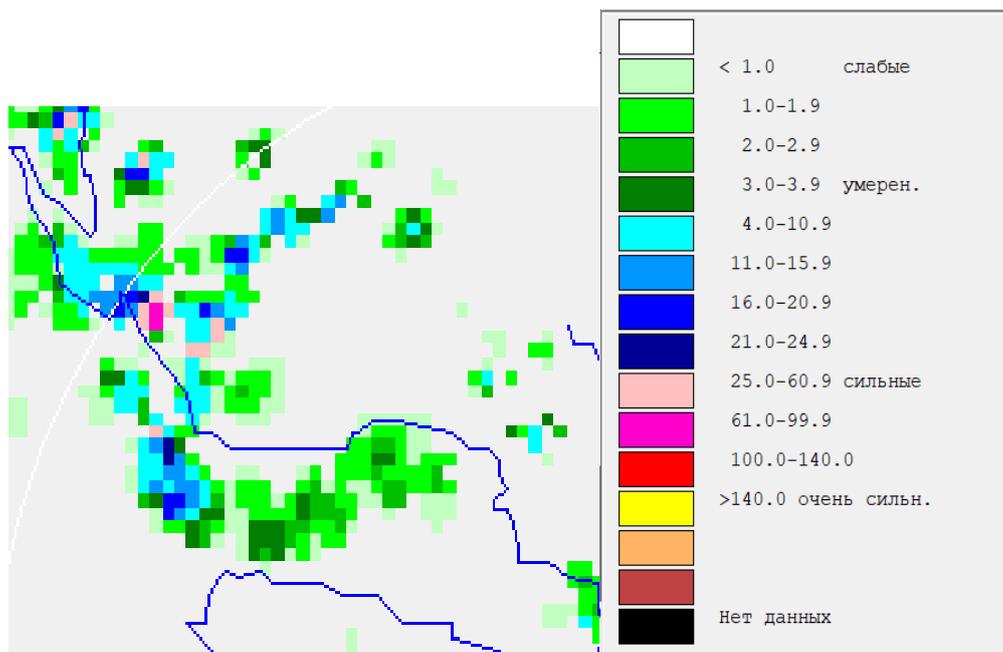


Рисунок 2.6.8 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.6.8 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 61,0 – 99,9 мм/ч.

Линейное эхо

За 2017 год система «Линейное эхо» наблюдалось всего 3 раза. Возьмём систему за 22 июля, продолжительность которого была с 11:27 по 13:17 и опишем радиолокационный обзор за 11:37, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

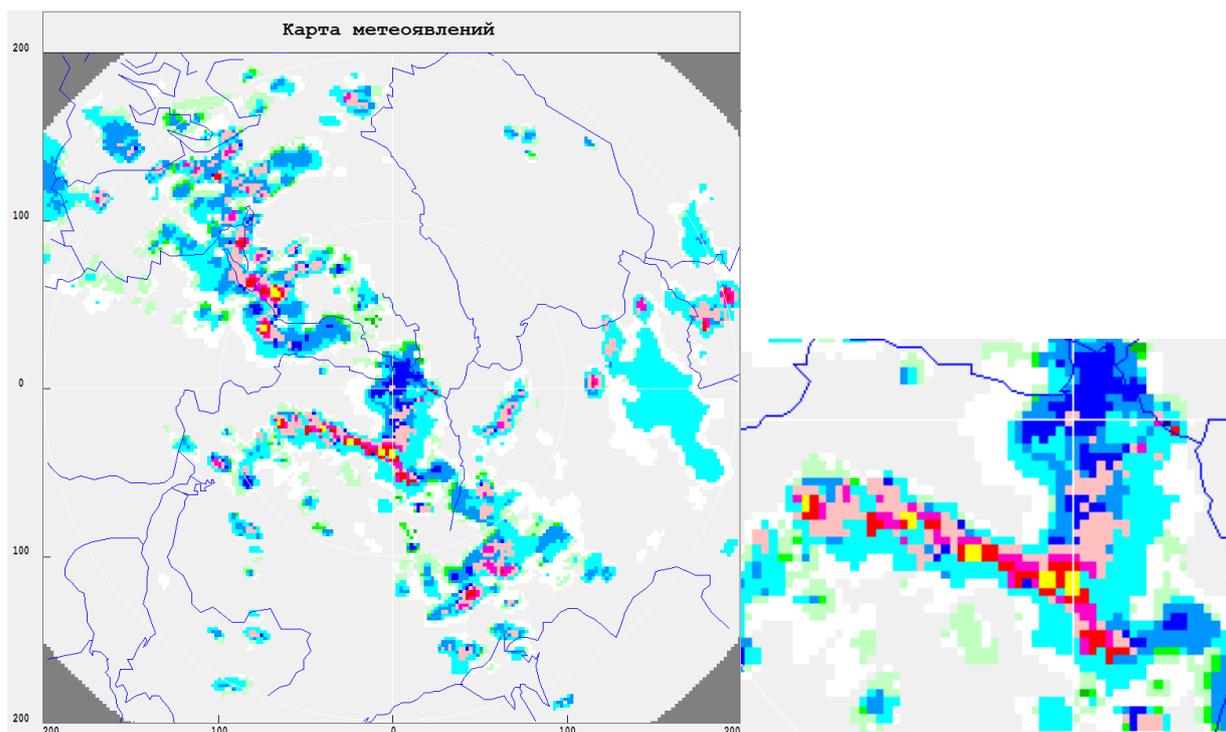


Рисунок 2.6.9 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 22 июля в 11:37

Рисунок 2.6.9 показывает, что система не смещалась.

Данные показали, что грозы с 50 процентной вероятностью были в южной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.6.10 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

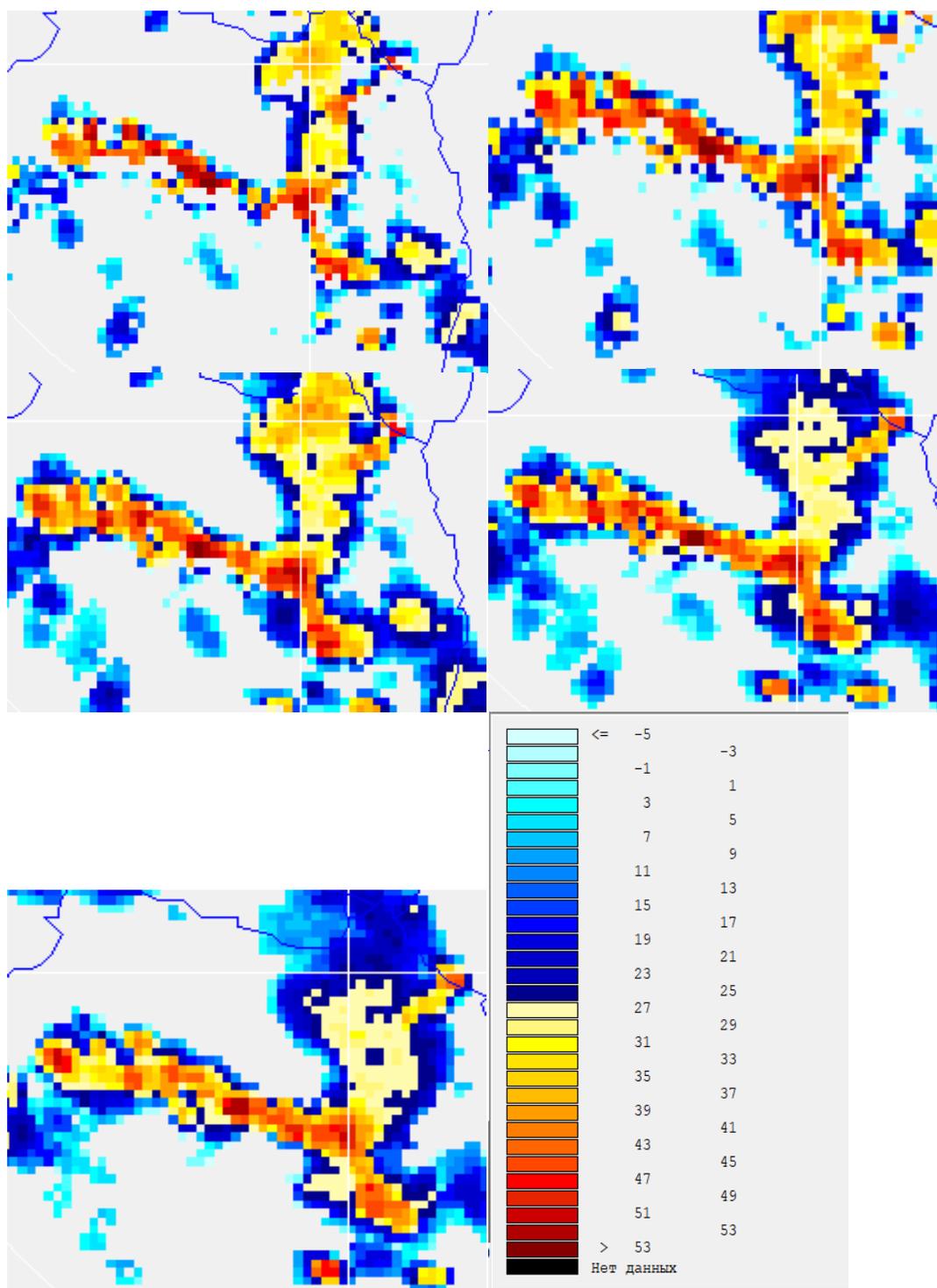


Рисунок 2.6.10 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 0 до 4 км и составляла больше 53 dBZ.

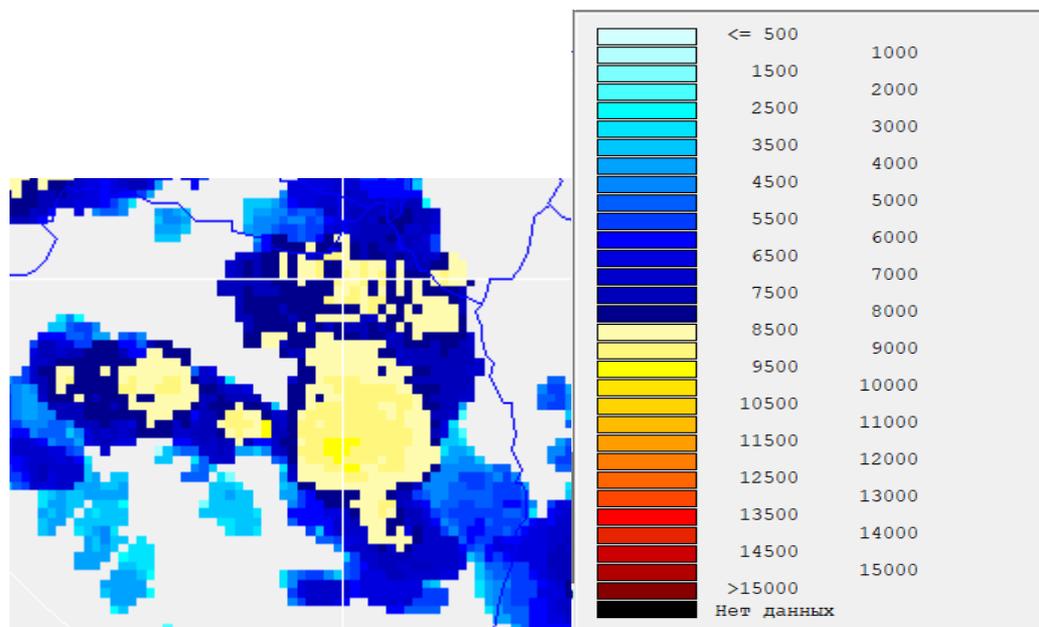


Рисунок 2.6.11 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.6.11 показал, что максимальная высота радиоэха: 9000 м.

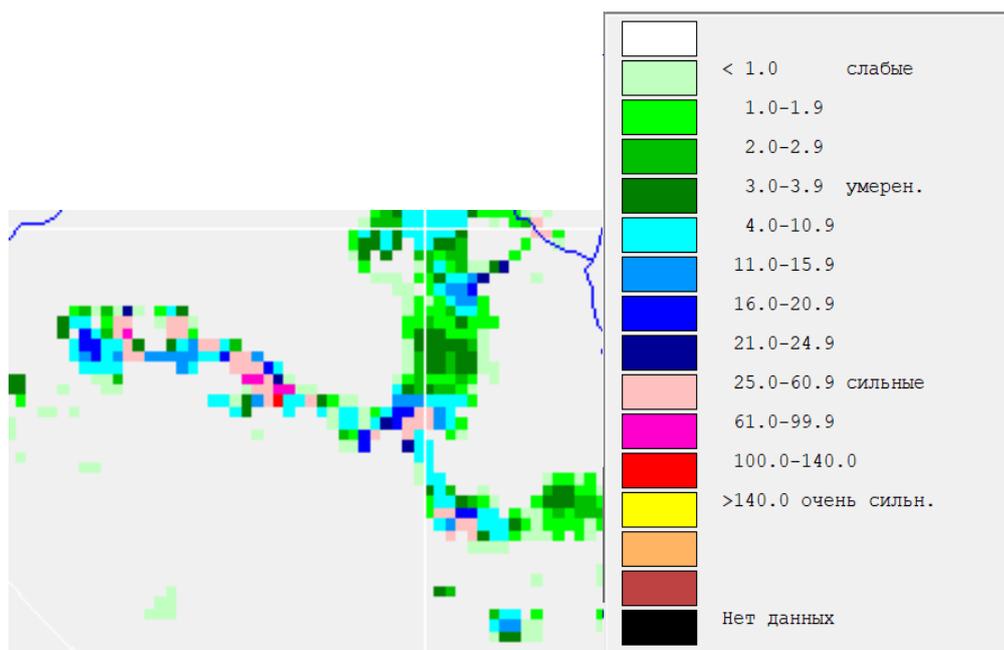


Рисунок 2.6.12 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.6.12 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 100,0–140,0 мм/ч.

V - выемка

За 2017 год система «V-выемка» наблюдалось всего 2 раз. Возьмём систему за 18 июля, продолжительность которого была с 7:57 по 8:57 и опишем радиолокационный обзор за 8:37, где хорошо проявляется грозовая активность и где хорошо проявляются признаки данной системы.

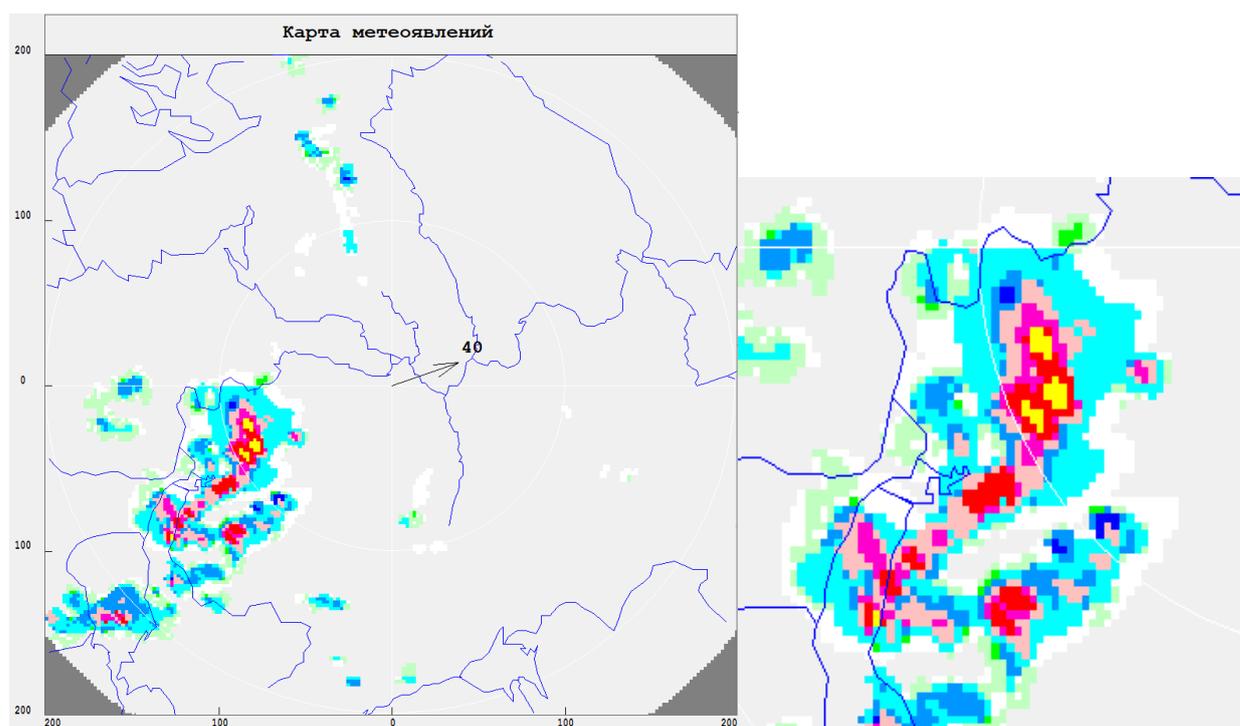


Рисунок 2.6.13 Карта радиолокационного обзора с метеоявлениями за 22 июля в 8:37

Рисунок 2.6.13 показывает, что система смещалась на северо-восток, ветер во время смещения явления в среднем была 40 км/ч..

Данные показали, что грозы с 100 процентной вероятностью были в юго-западной части от локатора. В самом Санкт – Петербурге грозы не ожидается.

На территории, где присутствовала гроза, она сопровождалась слабым градом и умеренным ливнем. В этой области преобладала конвективная облачность.

На рисунке 2.6.14 мы обозревали радиолокационную отражаемость на различных высотах (0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 км).

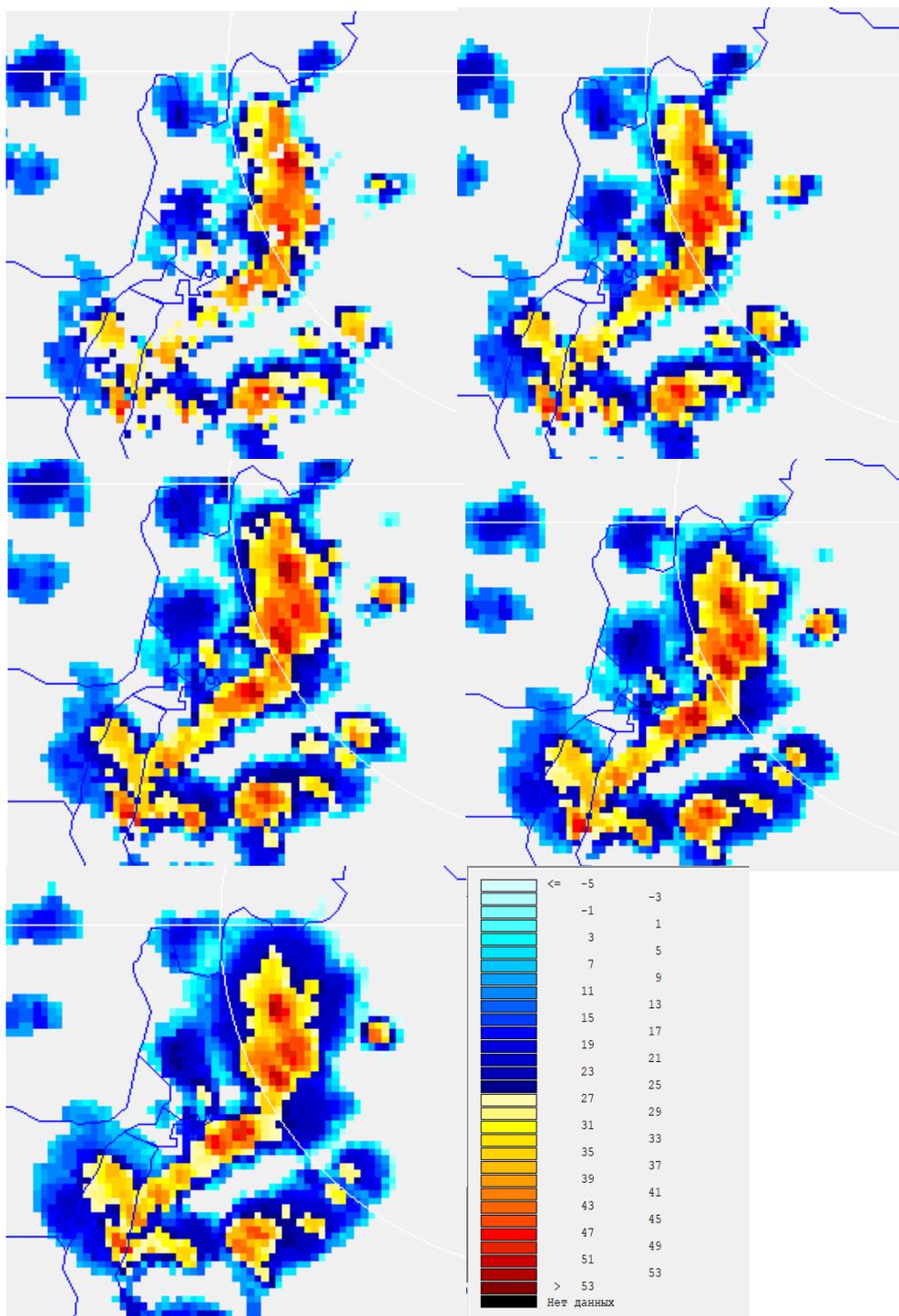


Рисунок 2.6.14 Срезы радиолокационной отражаемости по высотам от 0 до 5 км.

Данные показали, что максимальная отражаемость была в слоях от 2 до 5 км и составляла 53 dBZ.

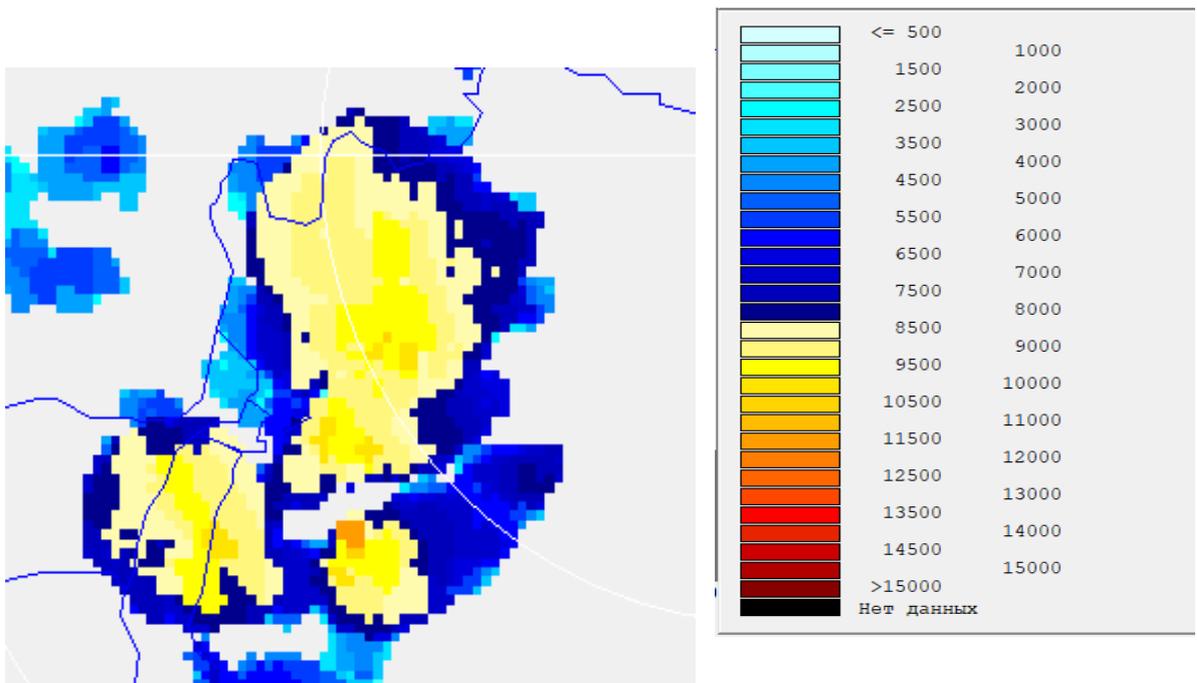


Рисунок 2.6.15 Карта высоты радиоэха в данном районе

Рисунок 2.6.15 показал, что максимальная высота радиоэха: 10000 м.

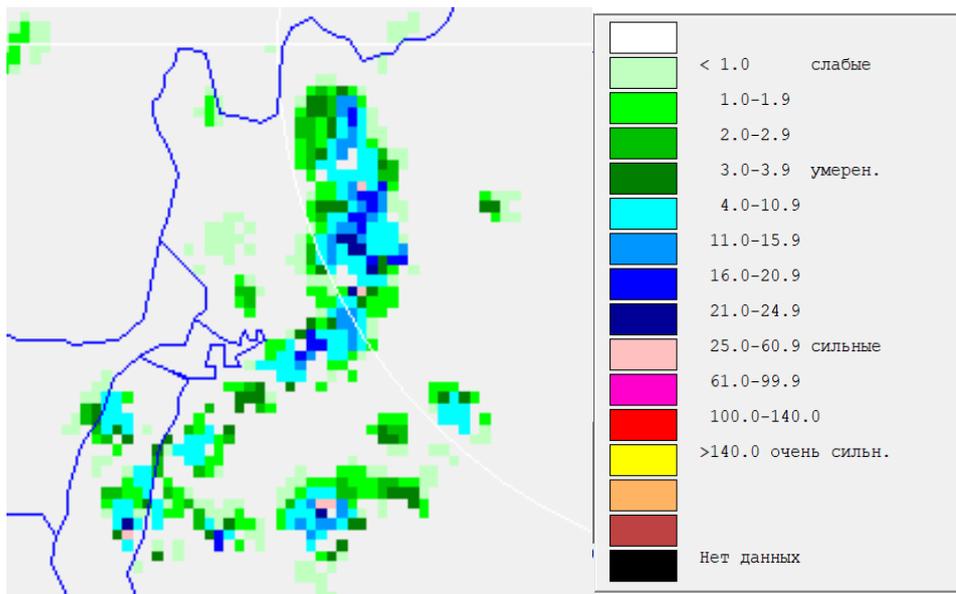


Рисунок 2.6.16 Интенсивность осадков в данном районе

Рисунок 2.6.16 показал, что максимальная интенсивность осадков в районе: 25,0 – 60,9 мм/ч.

2.7. Анализ каждой мезомасштабной системы

Анализируя все мезомасштабные системы, мы можем сделать вывод, что всего, за период в летние сезоны 2013–2017 годов, было зафиксировано 83 мезомасштабные системы. Наибольшая высота радиозеха у системы типа Эхо-лук – 13,5–15,0 км. Наибольшая интенсивность была у всех систем. Система V-выемка перемещалась со скоростью 40–70 км/ч, а система Линейное эхо – 30–70 км/ч.

По тем же данным мы построим временной анализ систем всех типов по годам.

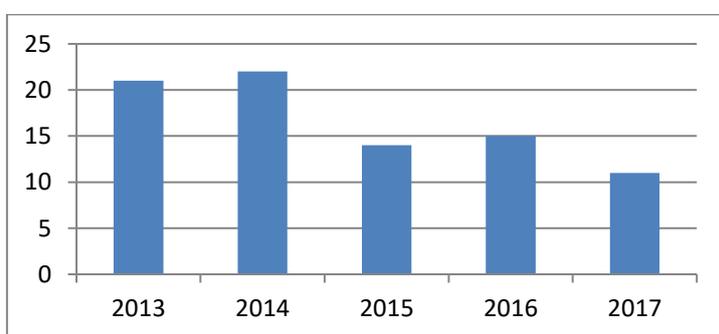


Рисунок 2.6.1 Распределение систем всех типов по годам

Рисунок 2.6.1 Показывает, что больше всего мезомасштабных систем было зафиксировано в 2014 году (всего 22).

Также мы анализируем количество каждой мезомасштабных систем зафиксированных в этот период

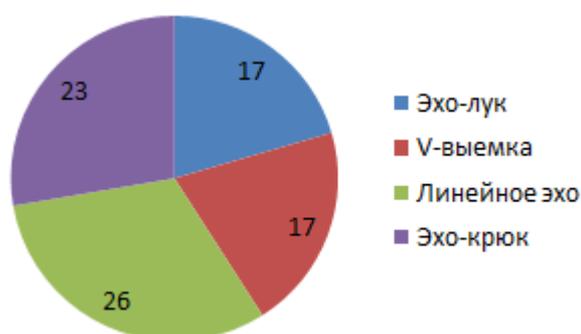


Рисунок 2.6.2 Анализ типов систем

Рисунок 2.6.2 показывает, что система «Линейное эхо» было самым частым за период 2013-2017 годов.

После разбора мезомасштабных систем мы рассмотрим расположения грозовой активности каждого вида. Для этого построены пять карт – рисунок 2.6.3, где символами изображены места гроз.

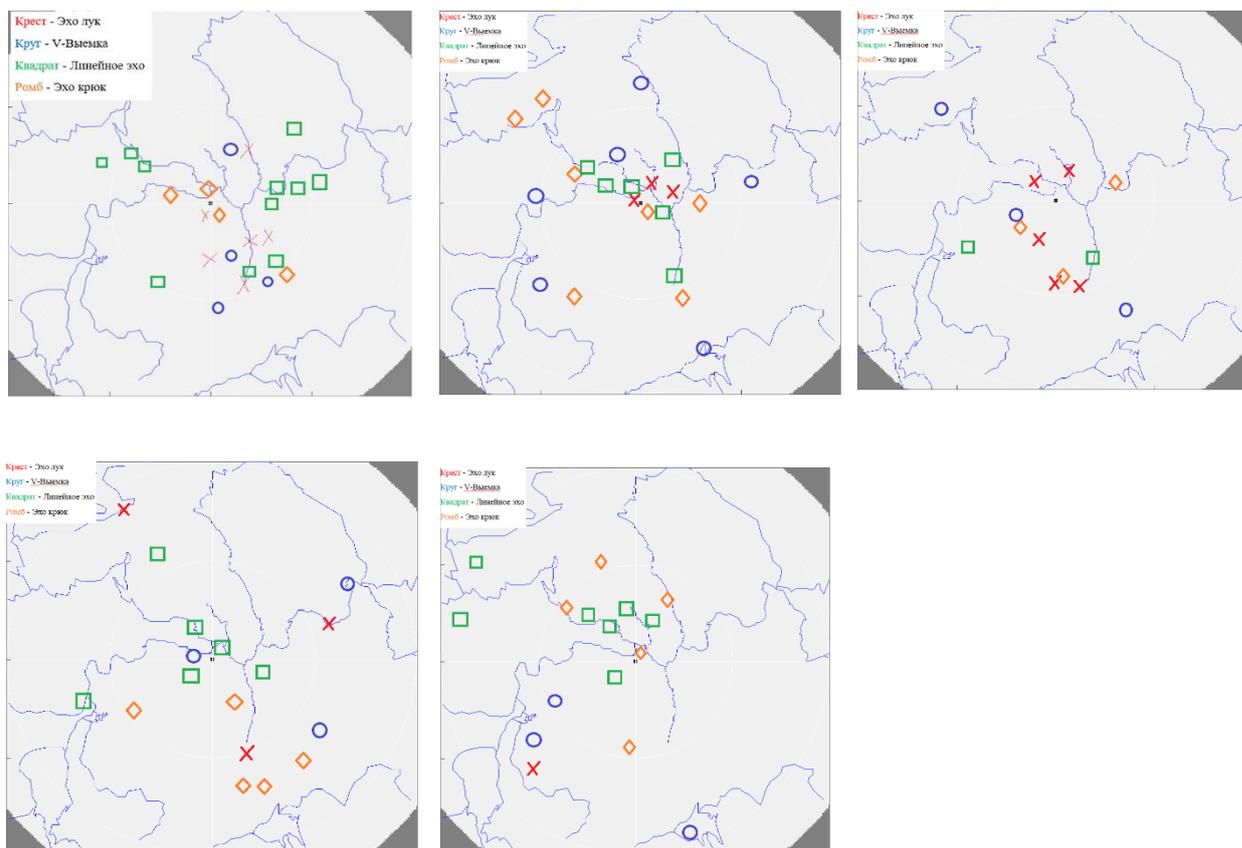


Рисунок 2.6.3 Местоположение гроз каждой мезомасштабной системы.

Анализ рисунка 2.6.3 показал следующее.

1. Наиболее частая система была система «Линейное эхо» (обозначена зеленым квадратом на рис. 2.6.1) – за рассматриваемые 5 лет летнего сезона она встретилась 83 раза. Большинство таких систем возникало у береговой границы: вдоль побережья Финского залива (6), Ладожского озера (7), вдоль Невы, Тосны и других рек (6). Интересно, что три года подряд Линейной эхо возникало примерно в одном месте – на реке Тосна в 130 км от Санкт-Петербурга близ усадьбы Марьино.
2. Система Выемка (синий круг на рис. 2.6.1) наиболее широко

распространена по всей территории радиообзора, практически ни одного случая над городом и Ленинградской областью не зафиксировано. И также в большинстве своем такие системы возникали на побережьях (16 из 22). Два случая зафиксировано на берегу озера Ильмень.

3. Система Эхо-лук – самый компактный класс систем по территориальной распространенности
4. Наиболее часто грозовая активность была над сушей, чем над водными объектами.
5. В самом Санкт-Петербурге грозовая активность была зафиксирована 8 раз.

Далее мы рассмотрим подробно максимальные значения, зафиксированные в каждой мезомасштабной системе за каждый год, а также подведём итог, сколько было всего зафиксировано грозовой активности в этот период. В этом нам поможет таблица 2.6.1

Таблица 2.6.1 Максимальные значения, зафиксированные в каждый год

	2013				2014			
	Эхо-лук	V-выемка	Линейное эхо	Эхо-крюк	Эхо-лук	V-выемка	Линейное эхо	Эхо-крюк
25	-	-	-	2	-	-	-	2
50	-	-	3	1	-	-	3	1
100	5	3	6	1	5	3	6	1
Hmax	13500	12000	14000	15000	13500	12000	14000	15000
Zmax	>53	>53	>53	>53	>53	>53	>53	>53
I _{max}	61,0-99,9	25,0-60,9	25,0-60,9	100,0–140,0	61,0-99,9	25,0-60,9	25,0-60,9	100,0–140,0
V _{max}	30	40	60	40	30	40	60	40
2015				2016				
25	3	-	2	1	-	2	1	2
50	1	2	2	1	1	-	-	2
100	1	1	-	-	2	1	3	1
Hmax	13500	11000	12000	12000	15000	>15000	>15000	12000
Zmax	>53	>53	>53	>53	>53	>53	>53	>53
I _{max}	61,0-99,9	100,0–140,0	61,0-99,9	25,0-60,9	25,0-60,9	100,0–140,0	100,0–140,0	61,0-99,9
V _{max}	60	40	60	60	60	50	70	60
2017				Итого				
25	-	1	1	2	Количество систем			
50	-	-	1	2	17	17	26	23
100	1	1	1	1				
Hmax	15000	12000	>15000	12000				
Zmax	51	>53	>53	>53				
I _{max}	11,0-15,9	21,0-24,9	61,0-99,9	100,0–140,0				
V _{max}	40	40	40	40				

Анализируя таблицу 2.6.1., мы можем сделать вывод, что наибольшая высота радиоэха у системы типа Эхо-лук – 13,5–15,0 км. Наибольшая

интенсивность была у всех систем. Система V-выемка перемещалась со скоростью 40–70 км/ч, а система Линейное эхо – 30–70 км/ч.

Глава 3. Анализ временной динамики радиолокационных характеристик грозовых очагов.

В этой главе мы рассмотрим зависимости значений для некоторых систем от временного отрезка до грозы, во время ее появления и после ее существования. Чтобы это сделать мы берём высоту радиоэха, отражаемость сигнала на разных уровнях, интенсивность осадков и площадь грозового очага и исходя из этих данных мы можем сделать выводы, как менялись те или иные значения со временем, а также проанализируем в какой срок проявилась грозовая активность.

3.1 Временная динамика радиолокационной отражаемости на высотах.

Рассмотрим мезомасштабную систему «Эхо-лук» за 12 августа 2015 года.



Рисунок 3.1.1 График зависимости высоты радиоэха от времени за 12 августа

Рисунок 3.1.1 показывает, как изменялась высота радиоэха за час до начала грозы, во время ее появления и за час после срока. Красными линиями обозначена длительность грозовой активности. Минимальное значение будет в 17:26, так как в это время грозовая активность была самой минимальной за

этот срок. Максимальное значение будет в период с 18:36 по 20:06, во время проявления грозовой активности. Значения в это время достигли значения тропопаузы и держались практически без изменения 3 часа, то есть во время и после срока грозы.

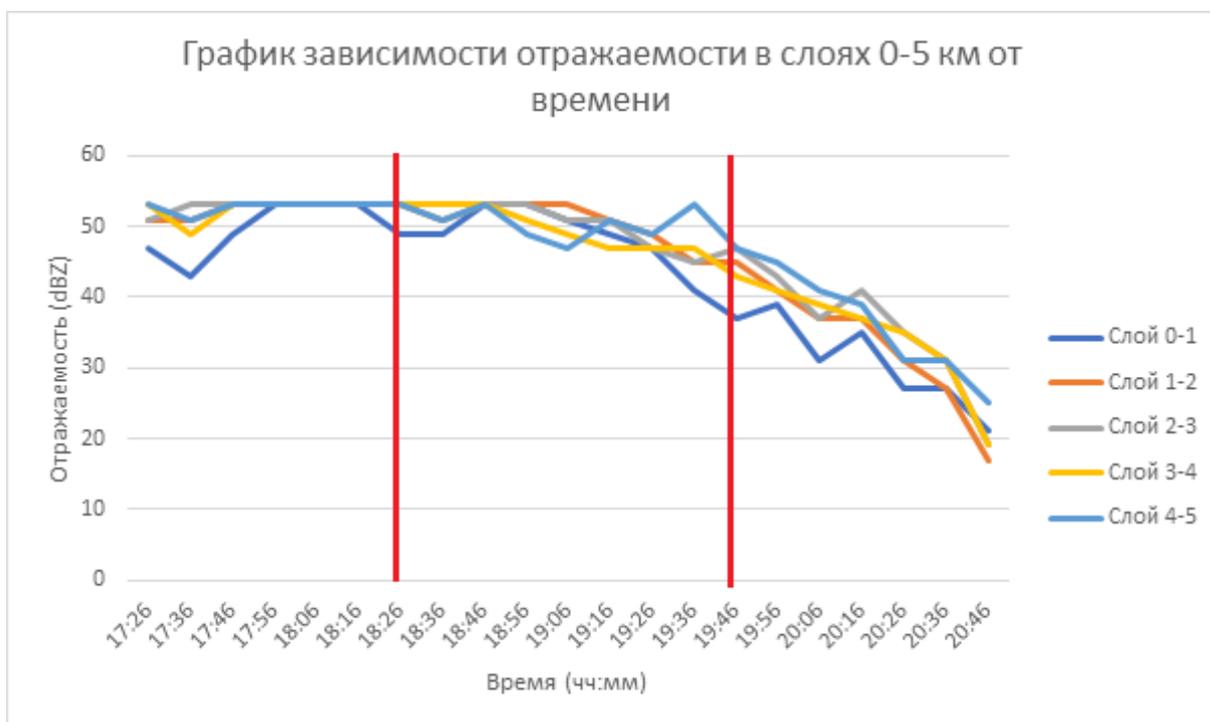


Рисунок 3.1.2 График зависимости отражаемости в слоях 0-5 км от времени

Рисунок 3.1.2 показывает, как изменялась отражаемость в пяти разных слоях за время до, во время и после срока грозы. Красными линиями обозначена длительность грозовой активности. Максимальное значение на всех слоях было с 17:56 и продержалось до 18:46, пока не начало падать.



Рисунок 3.1.3 График зависимости интенсивности осадков от времени

Рисунок 3.1.3 основан на изменении интенсивности осадков за время до, во время и после срока грозы. Красными линиями обозначена длительность грозовой активности. Максимальная интенсивность осадков будет в сроках с 18:46 до 19:26, так как в это время проходил умеренный ливень со слабым градом.

Анализируя графики, можно сделать вывод что пик активности грозы был в 18:46, что подтверждают данные локатора, где гроза показана с вероятностью 100 процентов.

Для сравнения возьмём другую мезомасштабную систему. Проанализируем данные системы «V-Выемка» за 20 мая 2014 года.



Рисунок 3.1.4 График зависимости высоты радиоэха от времени

На рисунке 3.1.4 пик высоты радиоэха был в 19:37 и составлял 13500 метров. Красными линиями обозначена длительность грозовой активности. Максимальные значения достигали значения тропопаузы и постоянно изменялись.

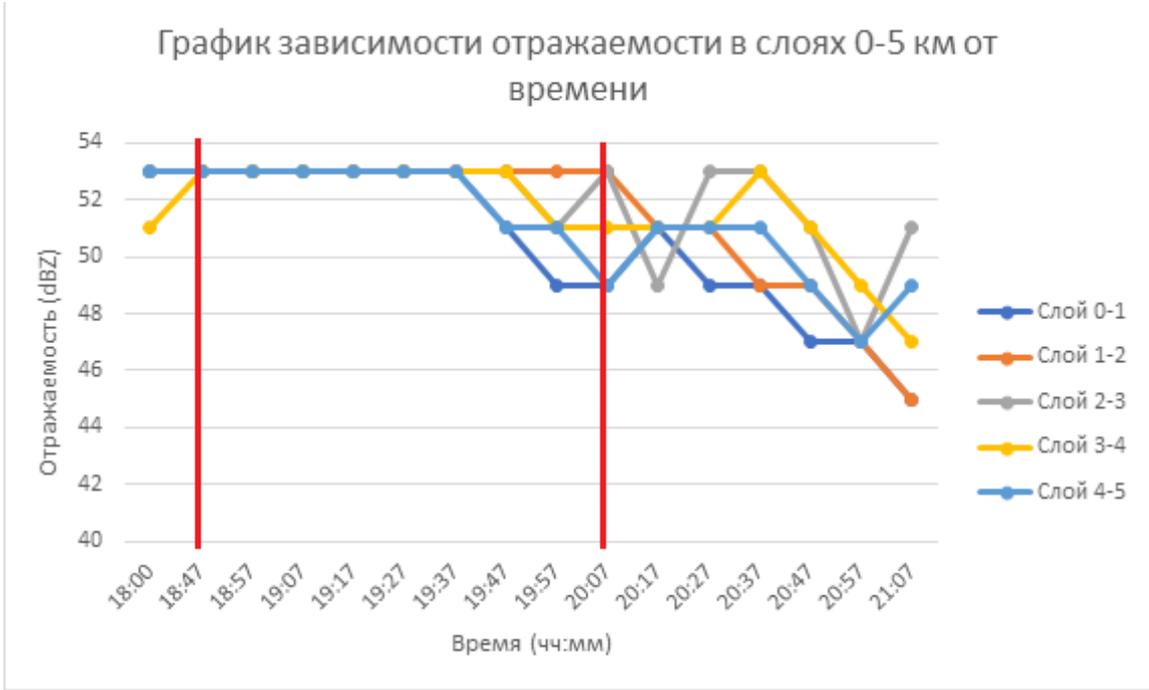


Рисунок 3.1.5 График зависимости отражаемости в слоях 0-5 км от времени

Рисунок 3.1.5 показывает, что значения всех слоёв были идентичны с 18:47 по 19:37. Из этого можно предположить, что отражаемость в

зависимости от высоты изменялась не сразу. В 19:47 значения начали падать.

Красными линиями обозначена длительность грозовой активности.

Пик отражаемости был во время проявления грозовой активности.



Рисунок 3.1.6 График зависимости интенсивности осадков от времени

Рисунок 3.1.6 показывает, что максимальная интенсивность осадков будет с 18:00 по 19:27, которое составляло 99 мм/ч. Красными линиями обозначена длительность грозовой активности.

Исходя из графиков можно сделать вывод что пик активности грозы был в начале срока, что подтверждают данные локатора, где гроза показана со 100 процентной вероятностью.

Сравнивая 2 срока разных мезомасштабных систем типа «Эхо-лук» и «V-Выемка» и наблюдая за грозовой активностью за эти 2 дня, можно сделать вывод, что высота радиоэхо достигает тропопаузы, а у отражаемости и интенсивности есть свои пики, продержавшиеся час, пока не начали падать.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе основной целью являлось изучение мезомасштабных конвективных систем и анализ известных нам радиолокационных средств и методов прогнозирования гроз.

Проведенный анализ данных комплексного наблюдения за облачностью в процессе его развития в районе локатора в Пулково с 2013 по 2017 год позволил установить характеристики мезомасштабных систем и их связи с некоторыми радиолокационными характеристиками, характеризующими грозовую активность облака. На основе этих данных проанализировали частоту гроз в городе Санкт-Петербурге за теплые месяцы 2013–2017 годы.

За эти 5 лет нам удалось обнаружить 83 мезомасштабные системы, вместе с ними была связана и грозовая активность. Мы рассмотрели, как меняется динамика основных радиолокационных параметров.

Для этого мы использовали автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс типа «Метеоячейка», в котором содержится информация об облачности, осадках и опасных явлениях погоды. Также мы

исследовали отражаемость в слоях, высоту радиоэха и интенсивность осадков. Проведенный анализ этих данных позволил определить грозовую активность в определённой облачности в виде отдельных ячеек и выяснить характеристики и типы мезомасштабных систем на радиолокационном обзоре.

Исходя из этих данных была исследована временная динамика радиолокационной отражаемости, высоты и площади грозового очага.

Высота всех мезомасштабных явлений достигала тропопаузы.

На основе исследований грозовой активности в Санкт-Петербурге с помощью радиолокаторов возможно совершенствование существующих и разработка новых эффективных методов контроля электрического состояния грозовых облаков, в том числе и для других районов России, с помощью существующей сети МРЛ.

Список литературы

1. Крейг Маклейн. The science of the south. Radar love (2015).
2. Уильям Р. Коттон, Сьюзан ван ден Хивер и Израэль Джирак. Концептуальные модели мезомасштабных конвективных систем: часть 9. Университет штата Колорадо (2003).
3. Маглипогода. Метеорологические радиолокаторы (2019).