ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ

В.Х. Корбан, Л.Н. Дегтярёва, Д.В. Корбан

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова
г. Одесса, ул. Кузнечная, 1

В статье изложены методологические подходы к поляризационному анализу электромагнитной волны при осуществлении радиолокационного мониторинга облаков и связанных с ними опасных явлений погоды.

Введение. К настоящему времени Потехиным В.А., Павловым Н.Ф., Шупяцким А.Б., Рыжковым А.В., Мельником Ю.А., Степаненко В.Д. и др. разработаны поляризационные методы определения характеристик облаков и осадков. Однако все основаны на предположении, что метеообъект имеет собственные линейные поляризации, а его состояние оценивается по методу Z_{DR} и коэффициенту анизотропии Z_{CDR}. В ряде случаев исследования некоторых авторов (Рыжков А.В., Мельник Ю.А., Огути Т, Довиак Р. Зрнич Д.) сведены к анализу дифференциального ослабления ΔA (дБ/км) и дифференциального фазового сдвига $\Delta \hat{O}$ (°/км). В связи с тем, что в радиолокационном мониторинге отсутствует полный поляризационный анализ микрофизической структуры метеообъекта и его динамического состояния, в данной статье сделана попытка изложить разработанную методику такого анализа. При этом, несмотря на то, что метеообъект обладает значительной неопределенностью своих состояний, при его описании необходимо учитывать характеристику неопределенности и динамики на языке стохастических структур. Однако при осуществлении полного поляризационного анализа ею можно пренебречь, поскольку она факторизуется с алгоритмами вариации поляризационных свойств, как анализируемой электромагнитной волны, так и облаков и осадков. В соответствии с этим при осуществлении полного поляризационного анализа нами проводится сравнение поляризационных процедур селекции и пространственная фильтрация.

Методика исследования. Облака и связанные с ними ОЯП являются специфической радиолокационной целью, отличающейся большим количеством отражателей, форма, размеры, ориентация, фазовое состояние которых непрерывно изменяется. Традиционные методы описания поляризации радиоволн с помощью поляризационного эллипса при радиолокационной селекции таких метеообъектов оказываются неудобными и малоинформативными. Материал статьи основан на определении поляризации электромагнитных волн с помощью параметров, квадратичных относительно напряженности электрического поля, и метод поляризационного анализа, основанный на измерении квадратичных относительно поля величин, является основным. Параметрами поляризации являются 4-е вещественные энергетические параметры Стокса имеющие размерность интенсивностей:

$$I = P_x + P_y,$$

$$Q = P_x - P_y,$$

$$U = 2P_xP_y \cos\Phi_{xy},$$

$$V = 2P_xP_y \sin\Phi_{xy}, \qquad (1)$$

где P_x и P_y – мощность ортогональной составляющей электромагнитной волны; Φ_{xy} – разность фаз между ними.

При рассеянии электромагнитной волны частицами облаков и осадков имеет место преобразование поляризации. Поляризация отраженного от таких метеообъектов сигнала зависит как от параметров поляризации облучающей волны, так и от свойств рассеивающих частиц облаков и осадков (размеров, формы, ориентации и фазового состояния). Вследствие линейности уравнений Максвелла, которые при заданных граничных условиях определяют решение

дифракционной задачи нахождения параметров отраженной волны, зависимость поляризации которой от поляризации облучающей волны выражается с помощью матрицы рассеяния метеообъекта, состоящей из 16 коэффициентов отражения. Матрица рассеяния полностью определяет преобразование поляризации волны метеоцелью и позволяет рассчитать интенсивность и поляризацию отраженного от метеоцели сигнала. Отражающие свойства облаков и осадков с течением времени изменяются, что приводит к изменению коэффициентов матрицы рассеяния, однако будем считать, что для каждой из используемых нами поляризаций на излучение, метеоцель является стабильной.

Рассмотрим метеоцель произвольной формы. Поляризационные характеристики отраженной волны определяются состоянием облаков и осадков, и поляризацией облучающей волны. Рассеивающие свойства метеоцели представим в виде матрицы [1]

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Значения коэффициентов матрицы (2) определяются физическими свойствами метеообъекта, такими как формой, ориентацией, размерами и фазовым состоянием частиц облаков и осадков. Измерив коэффициенты матрицы (2) с помощью поляризационной МРЛС, можно получить практически полную информацию о стадиях развитии кучево-дождевых и слоистых облаков, с которыми связаны опасные явления погоды, создающие в определенном регионе чрезвычайные ситуации природного значения.

С целью осуществления радиолокационного мониторинга зарождения и развития ОЯП будем использовать в качестве информативных радиолокационных параметров поляризационные безразмерные энергетические параметры Стокса, на излучение и прием, представленные в виде матрицы излучаемой и принимаемой электромагнитной волны. Тогда уравнение, связывающее параметры излучаемой антенной ПМРЛС с параметрами отраженной от метеообъекта волны и отражающими свойствами метеообъекта запишется в виде:

$$\begin{bmatrix} I_{îòð} \\ Q_{îòð} \\ U_{îòð} \\ V_{îòð} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_{èçë} \\ Q_{èçë} \\ U_{èçë} \\ V_{èçë} \end{bmatrix} \quad (3)$$

или в виде системы 4-х линейных уравнений:

$$\begin{aligned} I_{îòð} &= T_{11} I_{èçë} + T_{12} Q_{èçë} + T_{13} U_{èçë} + T_{14} V_{èçë}, \\ Q_{îòð} &= T_{21} I_{èçë} + T_{22} Q_{èçë} + T_{23} U_{èçë} + T_{24} V_{èçë}, \\ U_{îòð} &= T_{31} I_{èçë} + T_{32} Q_{èçë} + T_{33} U_{èçë} + T_{34} V_{èçë}, \\ V_{îòð} &= T_{41} I_{èçë} + T_{42} Q_{èçë} + T_{43} U_{èçë} + T_{44} V_{èçë} \end{aligned} \quad (4)$$

Так как информация о физических свойствах метеообъекта содержится в 16-ти коэффициентах матрицы рассеяния, то задача радиолокационного мониторинга облаков и осадков заключается в измерении коэффициентов матрицы с целью дальнейшего анализа и прогноза развития ОЯП, связанных с кучево-дождевыми и слоистыми облаками.

Рассмотрим методику радиолокационного измерения коэффициентов матрицы (2). Будем задавать параметры электромагнитной волны на излучение и прием в виде 4-х параметров Стокса, изменяя поляризацию излучаемой волны. Для измерения всех 16-ти коэффициентов матрицы достаточно метеоцель облучить электромагнитной волной 4-х поляризаций: неполяризованной, линейной вертикальной, линейной с углом наклона электрического вектора под 45° и круговой. При каждом излучении на выходе приемника ПМРЛС измеряются 4 параметра Стокса отраженной волны.

1. Будем облучать метеообъект неполяризованной электромагнитной волной, для которой параметры Стокса запишутся в виде:

$$\begin{bmatrix} I'_{\text{èçë}} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad (5)$$

а параметры Стокса отраженной волны можно представить в виде следующей матрицы

$$\begin{bmatrix} I'_{\text{îòð}} \\ Q'_{\text{îòð}} \\ U'_{\text{îòð}} \\ V'_{\text{îòð}} \end{bmatrix}. \qquad (6)$$

Тогда с учетом отражающих свойств метеообъекта уравнение связи между параметрами излученной и отраженной волны и параметрами метеообъекта имеет вид:

$$\begin{bmatrix} I'_{\text{îòð}} \\ Q'_{\text{îòð}} \\ U'_{\text{îòð}} \\ V'_{\text{îòð}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I'_{\text{èçë}} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad (7)$$

или в виде системы, состоящей из 4-х линейных уравнений

$$\left.\begin{aligned} {}^{2}{}'_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{11}\, {}^{2}{}'_{\text{èçë}} \\ Q'_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{21}\, {}^{2}{}'_{\text{èçë}} \\ U'_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{31}\, {}^{2}{}'_{\text{èçë}} \\ V'_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{41}\, {}^{2}{}'_{\text{èçë}} \end{aligned}\right\}. \qquad (8)$$

$I'_{\text{îòð}}$, $Q'_{\text{îòð}}$, $U'_{\text{îòð}}$, $V'_{\text{îòð}}$ измеряются с помощью ПМРЛС. Параметр Стокса $I'_{\text{èçë}}$ – известен заранее.

Из (8) легко определяется первый столбец коэффициентов матрицы (2), т.е.

$$T_{11} = \frac{I'_{\text{îòð}}}{I'_{\text{èçë}}};\quad T_{21} = \frac{Q'_{\text{îòð}}}{I'_{\text{èçë}}};$$
$$T_{31} = \frac{U'_{\text{îòð}}}{I'_{\text{èçë}}};\quad T_{41} = \frac{V'_{\text{îòð}}}{I'_{\text{èçë}}}. \qquad (9)$$

2. Для определения второго столбца коэффициентов матрицы (2) будем облучать метеоцель электромаг-нитной волной линейной вертикальной поляризации. При этом параметры Стокса волны на излучение запишутся в виде:

$$\begin{bmatrix} I''_{\text{èçë}} \\ Q''_{\text{èçë}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad (10)$$

а параметры Стокса отраженной волны имеют следующий вид:

$$\begin{bmatrix} I''_{\text{îòð}} \\ Q''_{\text{îòð}} \\ U''_{\text{îòð}} \\ V''_{\text{îòð}} \end{bmatrix}. \qquad (11)$$

Уравнение связи между параметрами отраженной волны, параметрами метеообъекта и параметрами излученной волны запишется в виде произведения 2-х матриц

$$\begin{bmatrix} I''_{\text{îòð}} \\ Q''_{\text{îòð}} \\ U''_{\text{îòð}} \\ V''_{\text{îòð}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I''_{\text{èçë}} \\ Q''_{\text{èçë}} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \qquad (12)$$

После перемножения 2-х матриц получим:

$$\left.\begin{aligned} {}^{2}{}''_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{11}\, {}^{2}{}''_{\text{èçë}} + T_{12}\, Q''_{\text{èçë}} \\ Q''_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{21}\, {}^{2}{}''_{\text{èçë}} + \grave{O}_{22}\, Q''_{\text{èçë}} \\ U''_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{31}\, {}^{2}{}''_{\text{èçë}} + \grave{O}_{32}\, Q''_{\text{èçë}} \\ V''_{\text{îòð}} &= \grave{O}_{41}\, {}^{2}{}''_{\text{èçë}} + \grave{O}_{42}\, Q''_{\text{èçë}} \end{aligned}\right\}. \qquad (13)$$

Откуда легко определяются коэффициенты второго столбца матрицы (2), т.е.

$$T_{12}=\frac{I''_{îòð}-T_{11}I''_{èçë}}{Q''_{èçë}},\quad T_{22}=\frac{Q''_{îòð}-T_{21}I''_{èçë}}{Q''_{èçë}},$$
$$T_{32}=\frac{U''_{îòð}-T_{31}I''_{èçë}}{Q''_{èçë}},\quad T_{42}=\frac{V''_{îòð}-T_{41}I''_{èçë}}{Q''_{èçë}}. \qquad (14)$$

Но так как $I''_{èçë}=Q''_{èçë}$, выражения (14) можно упростить

$$T_{12}=\frac{I''_{îòð}}{I''_{èçë}}-T_{11},\ T_{22}=\frac{Q''_{îòð}}{I''_{èçë}}-T_{21},$$
$$T_{32}=\frac{U''_{îòð}}{I''_{èçë}}-T_{31},\ T_{42}=\frac{V''_{îòð}}{I''_{èçë}}-T_{41} \qquad (15)$$

Величины, входящие в правую часть уравнений (15) известны. По ним и находятся коэффициенты второго столбца матрицы (2).

3. Определим коэффициенты третьего столбца матрицы (2). Для их определения метеообъект будем облу-чать линейно полризованной волной с наклоном электрического вектора под углом 45°. Матрица излучаемой волны имеет вид:

$$\begin{bmatrix} I'''_{èçë} \\ 0 \\ U'''_{èçë} \\ 0 \end{bmatrix}. \qquad (16)$$

При таком задании волны на излучение $I'''_{èçë}=U'''_{èçë}$. Матрица отраженной волны содержит все четыре параметра Стокса, т.е.

$$\begin{bmatrix} I'''_{îòð} \\ Q'''_{îòð} \\ U'''_{îòð} \\ V'''_{îòð} \end{bmatrix}. \qquad (17)$$

Уравнение связи параметров электромагнитной волны (16) и (17) с параметрами метеообъекта (2) запишется в виде:

$$\begin{bmatrix} I'''_{îòð} \\ Q'''_{îòð} \\ U'''_{îòð} \\ V'''_{îòð} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix}\times\begin{bmatrix} I'''_{èçë} \\ 0 \\ U'''_{èçë} \\ 0 \end{bmatrix}. \qquad (18)$$

После перемножения матриц соотношение (18) запишется следующим образом

$$\begin{bmatrix} I'''_{îòð} \\ Q'''_{îòð} \\ U'''_{îòð} \\ V'''_{îòð} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} T_{11}I'''_{èçë}+T_{13}U'''_{èçë} \\ T_{21}I'''_{èçë}+T_{23}U'''_{èçë} \\ T_{31}I'''_{èçë}+T_{33}U'''_{èçë} \\ T_{41}I'''_{èçë}+T_{43}U'''_{èçë} \end{bmatrix} \qquad (19)$$

или в виде 4-х линейных уравнений

$$\left.\begin{aligned} I'''_{îòð} &= T_{11}I'''_{èçë}+T_{13}U'''_{èçë} \\ Q'''_{îòð} &= T_{21}I'''_{èçë}+T_{23}U'''_{èçë} \\ U'''_{îòð} &= T_{31}I'''_{èçë}+T_{33}U'''_{èçë} \\ V'''_{îòð} &= T_{41}I'''_{èçë}+T_{43}U'''_{èçë} \end{aligned}\right\} \qquad (20)$$

Из (20) коэффициенты 3-го столбца матрицы определяются следующим образом:

$$T_{13}=\frac{I'''_{îòð}}{I'''_{èçë}}-T_{11},\ T_{23}=\frac{Q'''_{îòð}}{I'''_{èçë}}-T_{21},$$
$$T_{33}=\frac{U'''_{îòð}}{I'''_{èçë}}-T_{31},\ T_{43}=\frac{V'''_{îòð}}{I'''_{èçë}}-T_{41}. \qquad (21)$$

4. Коэффициенты 4-го столбца матрицы (2) определяются путем излучения электромагнитной волны круговой поляризации, заданной параметрами Стокса в виде матрицы (22)

$$\begin{bmatrix} I''''_{\text{èçë}} \\ 0 \\ 0 \\ V''''_{\text{èçë}} \end{bmatrix} \qquad (22)$$

и приеме отраженной волны, заданной четырьмя параметрами Стокса в виде матрицы (23)

$$\begin{bmatrix} I''''_{\text{îòð}} \\ Q''''_{\text{îòð}} \\ U''''_{\text{îòð}} \\ V''''_{\text{îòð}} \end{bmatrix}. \qquad (23)$$

Уравнение связи 3-х матриц запишется в виде

$$\begin{bmatrix} I''''_{\text{îòð}} \\ Q''''_{\text{îòð}} \\ U''''_{\text{îòð}} \\ V''''_{\text{îòð}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I'''_{\text{èçë}} \\ 0 \\ 0 \\ V''''_{\text{èçë}} \end{bmatrix} \qquad (24)$$

После перемножения 2-х матриц соотношение (24) принимает вид:

$$\begin{bmatrix} I''''_{\text{îòð}} \\ Q''''_{\text{îòð}} \\ U''''_{\text{îòð}} \\ V''''_{\text{îòð}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} I''''_{\text{èçë}} + \dot{O}_{14} V''''_{\text{èçë}} \\ T_{21} I''''_{\text{èçë}} + \dot{O}_{24} V''''_{\text{èçë}} \\ T_{31} I''''_{\text{èçë}} + \dot{O}_{34} V''''_{\text{èçë}} \\ T_{41} I''''_{\text{èçë}} + \dot{O}_{44} V''''_{\text{èçë}} \end{bmatrix}. \qquad (25)$$

Представим (25) в виде 4-х линейных уравнений, из которых найдем четвертый столбец коэффициентов матрицы (2)

$$\left.\begin{aligned} {}^{2}{}''''_{\text{îòð}} &= \dot{O}_{11}\, {}^{2}{}''''_{\text{èçë}} + T_{14} U''''_{\text{èçë}} \\ Q''''_{\text{îòð}} &= \dot{O}_{21}\, {}^{2}{}''''_{\text{èçë}} + \dot{O}_{24} U''''_{\text{èçë}} \\ U''''_{\text{îòð}} &= \dot{O}_{31}\, {}^{2}{}''''_{\text{èçë}} + \dot{O}_{34} U''''_{\text{èçë}} \\ V''''_{\text{îòð}} &= \dot{O}_{41}\, {}^{2}{}''''_{\text{èçë}} + \dot{O}_{44} U''''_{\text{èçë}} \end{aligned}\right\}. \qquad (26)$$

Так как $I''''_{\text{èçë}} = V''''_{\text{èçë}}$, из (26) получим коэффициенты четвертого столбца матрицы (2)

$$T_{14} = \frac{I''''_{\text{îòð}}}{I''''_{\text{èçë}}} - T_{11},\ T_{24} = \frac{Q''''_{\text{îòð}}}{I''''_{\text{èçë}}} - T_{21},$$
$$T_{34} = \frac{U''''_{\text{îòð}}}{I''''_{\text{èçë}}} - T_{31},\ T_{44} = \frac{V''''_{\text{îòð}}}{I''''_{\text{èçë}}} - T_{41}. \qquad (27)$$

Параметры Стокса – это поляризационные параметры электромагнитной волны, позволяющие использовать в качестве информативного параметра поляризацию. Уравнение (1) можно представить через радиолокационную отражаемость Z

$$I = Z_x + Z_y = Z_\Sigma,$$
$$Q = Z_x - Z_y = Z_{DR},$$
$$U = 2 Z_x Z_y \cos\Phi_{xy},$$
$$V = 2 Z_x Z_y \sin\Phi_{xy}. \qquad (28)$$

Тогда коэффициенты матрицы (2) с учетом (28) выразятся следующим образом

$$\begin{bmatrix} Z'_{\Sigma_{îòð}} & Z''_{\Sigma_{îòð}} - Z'_{\Sigma_{îòð}} \\ Z'_{DR_{îòð}} & Z''_{DR_{îòð}} - Z'_{DR_{îòð}} \\ Z'_x Z'_{y\,îòð}\ ñîs\,\Phi_{xy} & Z''_x Z''_{y\,îòð}\ ñîs\,\Phi_{xy} - Z'_x Z'_{y\,îòð}\ ñîs\,\Phi_{xy} \\ Z'_x Z'_{y\,îòð}\ \sin\Phi_{xy} & Z''_x Z''_{y\,îòð}\ \sin\Phi_{xy} - Z'_x Z'_{y\,îòð}\ \sin\Phi_{xy} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z'''_{\Sigma_{îòð}} - Z'_{\Sigma_{îòð}} & Z''''_{\Sigma_{îòð}} - Z'_{\Sigma_{îòð}} \\ Z'''_{DR_{îòð}} - Z'_{DR_{îòð}} & Z''''_{DR_{îòð}} - Z''''_{DR_{îòð}} \\ Z'''_x Z'''_{y\,îòð}\ ñosΦ_{xy} - Z'_x Z'_{y\,îòð}\ \cos\Phi_{xy} & Z''''_x Z''''_{y\,îòð}\ \cos\Phi_{xy} - Z'_x Z'_{y\,îòð}\ \cos\Phi_{xy} \\ Z'''_x Z'''_{y\,îòð}\ \sin\Phi_{xy} - Z'_x Z'_{y\,îòð}\ \sin\Phi_{xy} & Z''''_x Z''''_{y\,îòð}\ \sin\Phi_{xy} - Z'_x Z'_{y\,îòð}\ \sin\Phi_{xy} \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Коэффициенты матрицы (29) можно представить и через параметры Стокса. Тогда матрица (29) запишется в виде:

$$\begin{bmatrix} \frac{I'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{I''_{îòð}}{I''_{èçë}} - \frac{I'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{I'''_{îòð}}{I'''_{èçë}} - \frac{I'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{I''''_{îòð}}{I''''_{èçë}} - \frac{I'_{îòð}}{I'_{èçë}} \\ \frac{Q'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{Q''_{îòð}}{I''_{èçë}} - \frac{Q'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{Q'''_{îòð}}{I'''_{èçë}} - \frac{Q'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{Q''''_{îòð}}{I''''_{èçë}} - \frac{Q'_{îòð}}{I'_{èçë}} \\ \frac{U'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{U''_{îòð}}{I''_{èçë}} - \frac{U'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{U'''_{îòð}}{I'''_{èçë}} - \frac{U'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{U''''_{îòð}}{I''''_{èçë}} - \frac{U'_{îòð}}{I'_{èçë}} \\ \frac{V'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{V''_{îòð}}{I''_{èçë}} - \frac{V'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{V'''_{îòð}}{I'''_{èçë}} - \frac{V'_{îòð}}{I'_{èçë}} & \frac{V''''_{îòð}}{I''''_{èçë}} - \frac{V'_{îòð}}{I'_{èçë}} \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Определим информативность коэффициентов матриц (29) и (30):

1. Коэффициенты T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14} являются мгновенными радиолокационными портретами метеообъекта, причем каждый последующий портрет содержит временную и пространственную фильтрацию.

2. Коэффициенты матрицы T_{21}, T_{22}, T_{23}, T_{24} несут сведения о временной и пространственной форме и размере отражающего метеообъекта, т.е о форме и размерах частиц облаков и осадков, и об их фазовом состоянии (вода, лёд), что позволяет распознать градовые и ливневые облака.

3. Коэффициенты матрицы T_{31}, T_{32}, T_{33}, T_{34} несут временную и пространственную информацию о преимущественной ориентации частиц облаков и осадков в горизонтальной плоскости, а их корреляционные функции о скорости гравитационного падения частиц и скорости увлечения частиц воздушным потоком.

4. Коэффициенты матрицы T_{41}, T_{42}, T_{43}, T_{44} несут временную и пространственную информацию о преимущественной ориентации частиц облаков и осадков в вертикальной плоскости, а их корреляционные функции о

скорости гравитационного падения частиц и скорости увлечения частиц воздушным потоком, т.е. о восходящих и нисходящих потоках воздуха.

Приведенный матричный аппарат позволяет получить максимум информации о метеообъекте и тем самым обеспечить радиолокационный прогноз чрезвычайных ситуаций природного характера.

В качестве примера сделаем анализ возможности обнаружения очагов с осадками большой интенсивности в обложных осадках, выпадающих из слоисто-дождевых облаков. Известно, что из слоисто- дождевых облаков выпадают обложные осадки над большими площадями, поперечные размеры которых могут достигать сотен и тысяч километров [2]. В таких осадках присутствуют очаги с осадками большой интенсивности, которые приводят к возникновению чрезвычайных ситуаций (наводнения, оползни, подтопления). Слоистые облака имеют смешанную фазовую структуру их частиц и в них можно выделить три зоны. Первая – переохлажденная, которая находится над нулевой изотермой и в которой присутствуют выпадающие снежинки. Под нулевой изотермой находится вторая зона или зона таяния снежинок, выпадающих из первой зоны. Толщина зоны таяния несколько сотен метров. Ниже зоны таяния присутствует третья зона водяных капель, достигающих земной поверхности. Сетевые амплитудные метеорадиолокаторы по своим информационным характеристикам не способны на фоне выпадающих обложных осадков выделить в них очаги осадков большой интенсивности. Обнаружение таких очагов и измерение интенсивности выпадающих осадков позволяет радиолокационный метеорологический поляриметр. Измерив коэффициенты матрицы T_{21}, T_{22}, T_{23}, T_{24} и осуществив их пространственную и временную фильтрацию, можно получить очаговую структуру осадков большой интенсивности на фоне выпадающих обложных осадков.

Выводы: Результатом проведенных авторами исследований в данной статье является следующее:

1. Поляризационная селекция облаков и осадков позволяет осуществить мониторинг опасных явлений погоды, приводящих к чрезвычайным ситуациям природного характера.

2. Поляризационные параметры электромагнитной волны являются наиболее информативными при осуществлении радиолокационного мониторинга опасных явлений погоды.

3. Получена возможность разделения жидкой и твердой фазы частиц облаков и осадков по поляризационным параметрам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Корбан В.Х.* Поляризаційна селекція хмар і опадів. – Одеса, 2004. – 248 с.
2. *Степаненко В.Д.* Радиолокация в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 343 с.