

Алгоритмы мониторинга движения МКК

Саворский В.П.

Москва

2025

Введение

Системы глубокой конвекции развиваются в слоях большой вертикальной мощности и могут занимать всю толщу тропосферы. Мезомасштабные конвективные комплексы (МКК), являясь одними из самых долгоживущих систем глубокой конвекции, представляют собой скопление кучево-дождевых облаков круглой формы с безоблачным пространством в центральной части. С ними могут быть связаны интенсивные ливни, грозы, шквалы, град, порывы ветра со скоростью более 30 м/с и даже смерчи.

Именно потому важно развивать инструменты обнаружения и мониторинга развития, в том числе пространственно-временной изменчивости зон МКК. Развитие алгоритмов работы такого рода инструментов и является основной целью данной работы

Зоны формирования МКК

МКК имеют ячеистую структуру с максимальными размерами ячеек 10÷15 км. Их площадь превышает 105 км², а продолжительность существования - не менее 6 ч [3,4].

МКК Возникают и развиваются преимущественно в тропических и субтропических зонах Земли

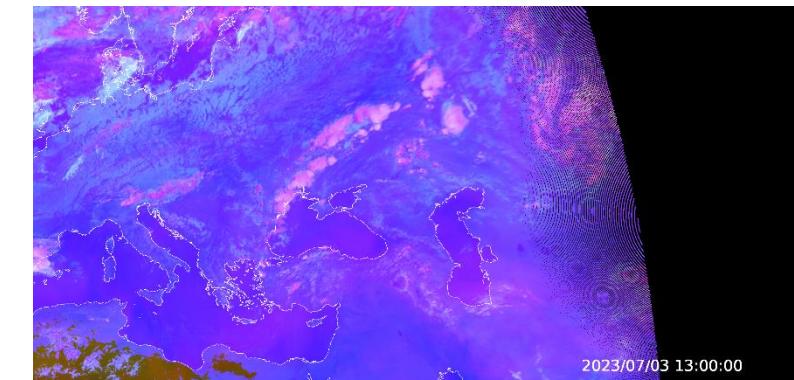
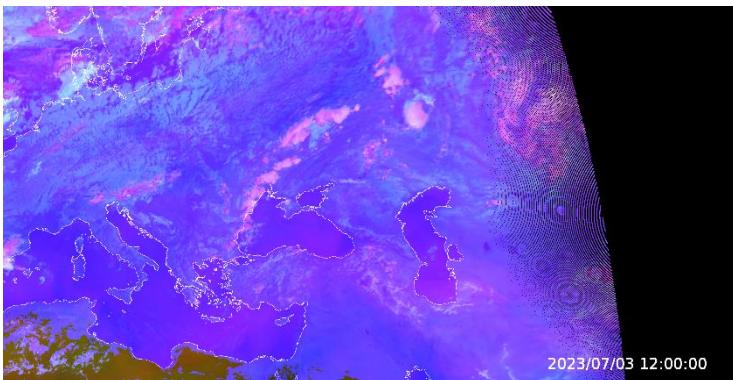
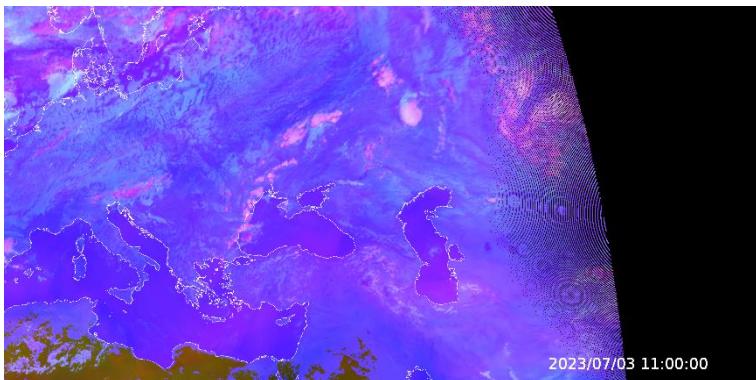
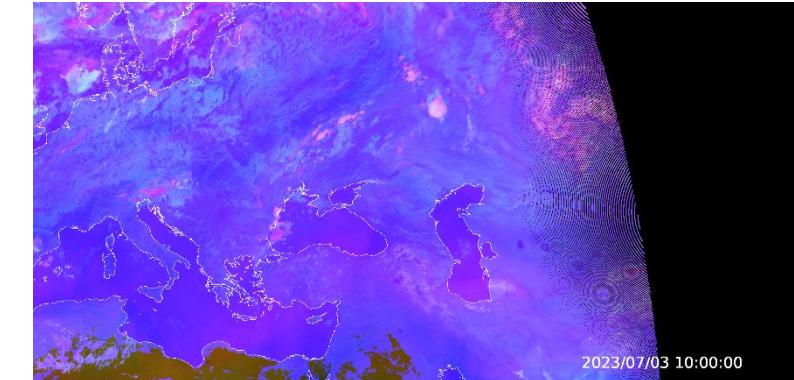
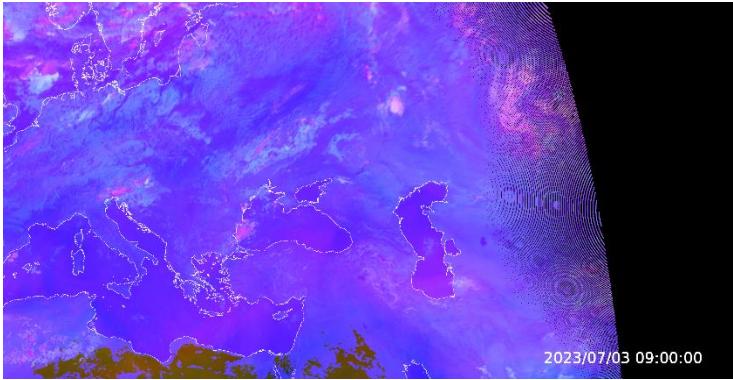
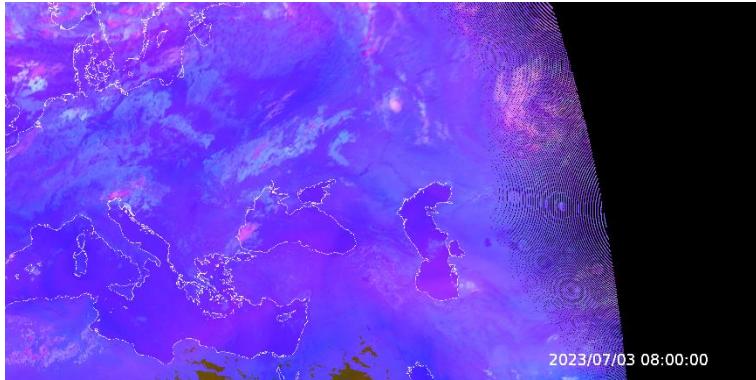
В умеренных широтах они наблюдаются значительно реже, преимущественно в летний период с мая по август на широтах до 40-45°

Физические признаки МКК

Холодный облачный щит обладает следующими физическими характеристиками:

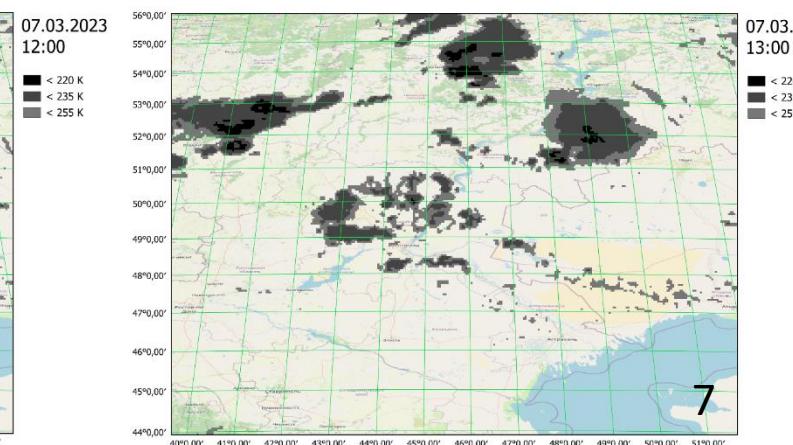
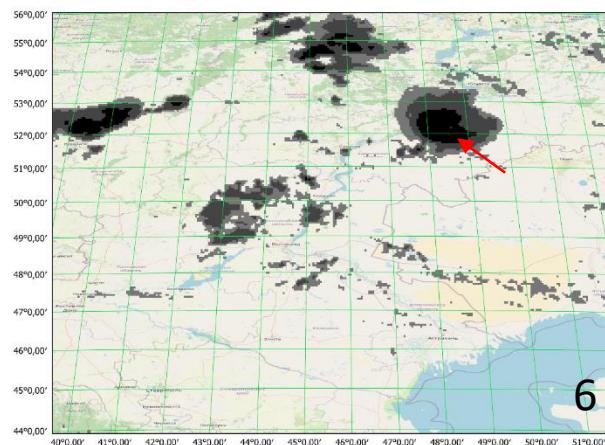
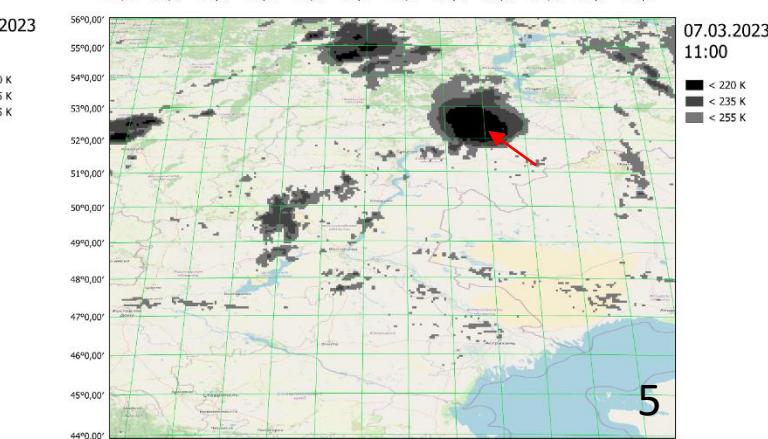
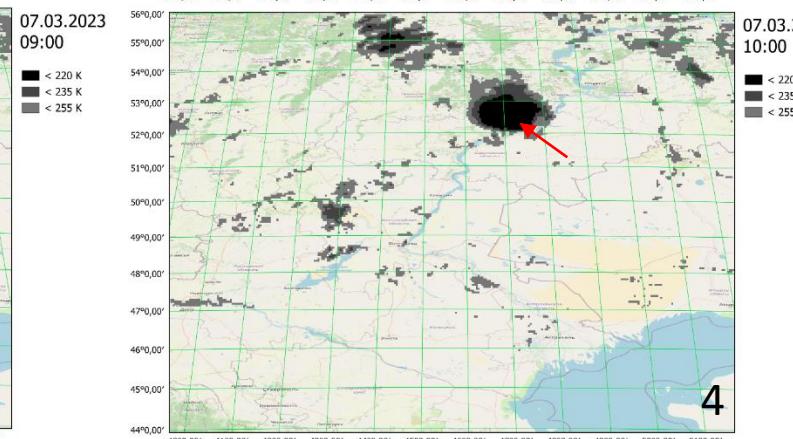
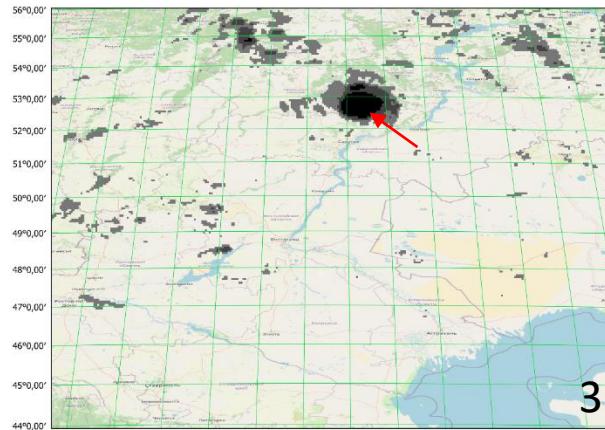
- размеры: А - облачный щит с постоянно низкой температурой инфракрасного (ИК) излучения $\leq -32^{\circ}\text{C}$ должен иметь площадь $\geq 10^5 \text{ км}^2$; В - область внутренних холодных облаков с термодинамической температурой $\leq -52^{\circ}\text{C}$ должна иметь площадь $\geq 0,5 \times 10^5 \text{ км}^2$;
- зарождение: выполняются условия для размеров А и В;
- максимальная протяженность: сплошной холодный облачный щит (ИК-температура $\leq -33^{\circ}\text{C}$) достигает максимального размера;
- форма: эксцентризитет (малая ось/большая ось) $\geq 0,7$ во время максимальной протяженности;

Данные геостационарных наблюдений зоны МКК в МК канале 10,8 мкм



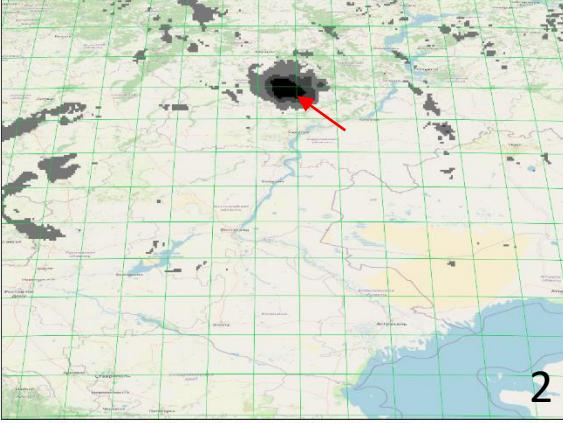
Динамика развития зоны осадков, порожденных мезомасштабным конвективным процессом

Зона «внутренних холодных облаков» с яркостной температурой менее 220 К обозначена **черным цветом**



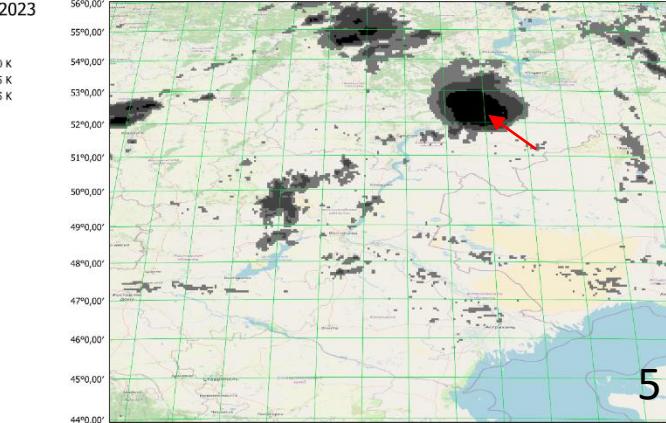
07.03.2023
08:00

< 220 K
< 235 K
< 255 K



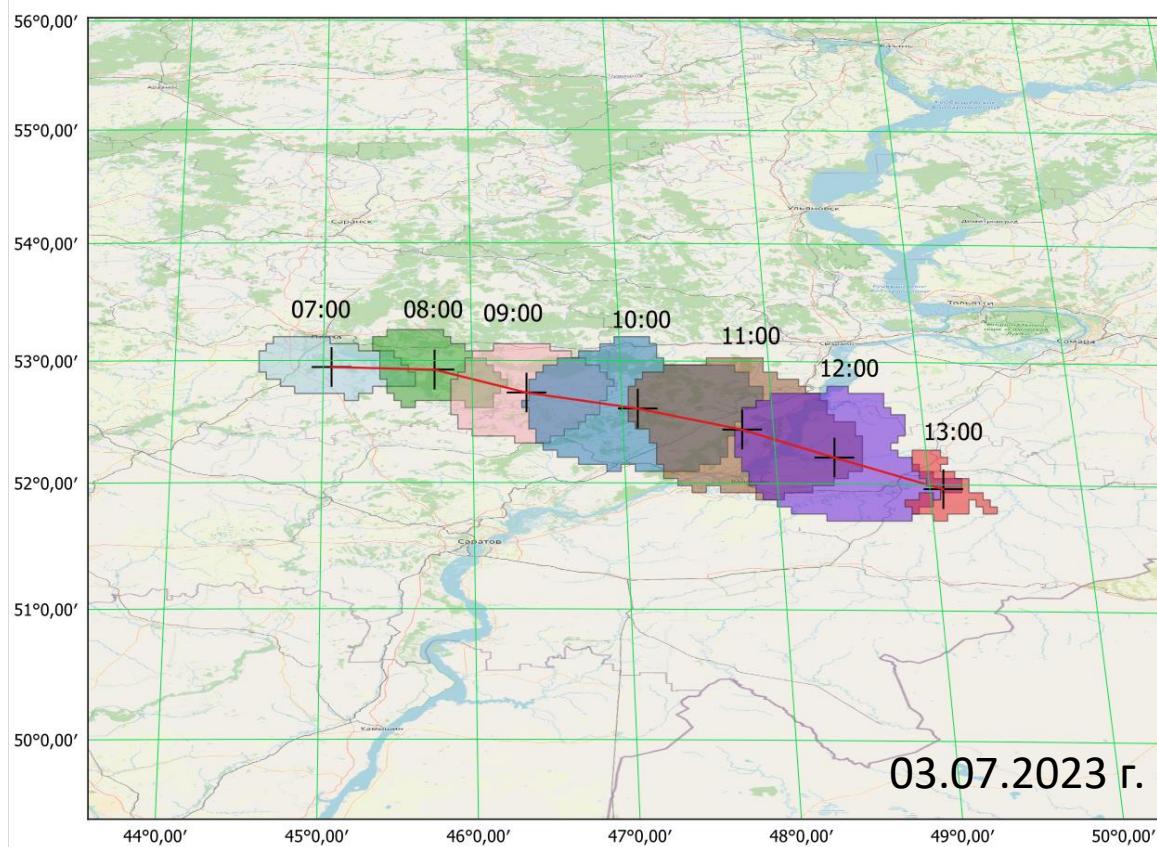
07.03.2023
11:00

< 220 K
< 235 K
< 255 K



Саворский В.П., Панова О.Ю. Данные первичного анализа изменения положения зоны МКК// Материалы 23-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2025.

Динамика развития зоны МКК (яркостная температура менее 220 К)



Координаты центров полигонов

Время съемки, GMT	Широта в градусах	Долгота в градусах
07:00	52,946	45,055
08:00	52,924	45,748
09:00	52,735	46,363
10:00	52,606	47,103
11:00	52,437	47,791
12:00	52,214	48,389
13:00	51,965	49,088

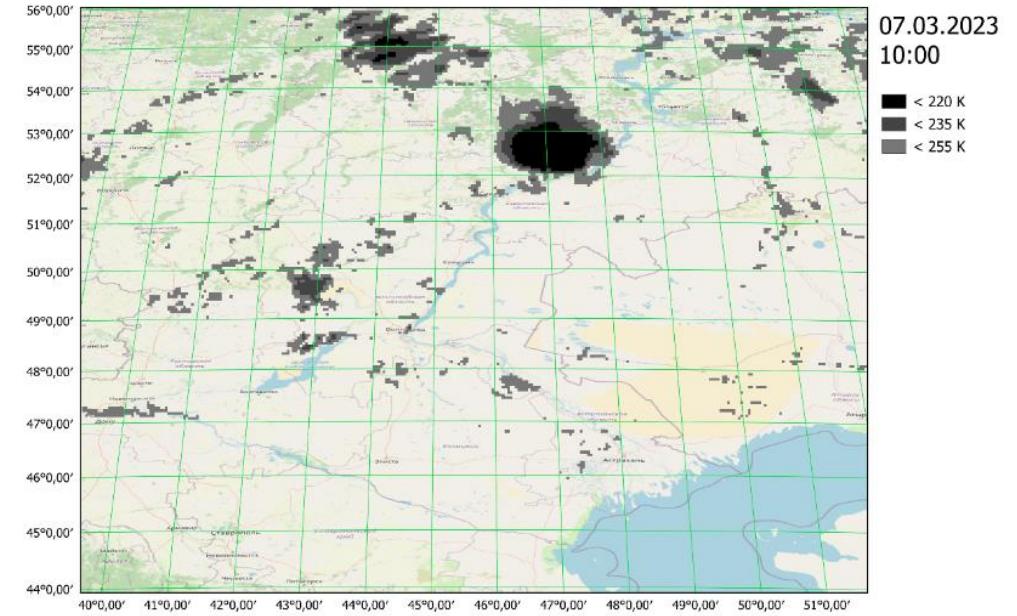
Саворский В.П., Панова О.Ю. Данные первичного анализа изменения положения зоны МКК// Материалы 23-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2025.

Реализованные алгоритмы

- Выделение зоны МКК
- Выделение границы МКК
- Проверка односвязности границы МКК
- Моделирование границы МКК эквивалентным эллипсом
- Построение трека перемещения центра МКК
- Определение скорости перемещения центра МКК
- Оценка динамики площади МКК
- Определение угловой скорости поворота МКК вокруг собственной оси

Выделение зоны МКК

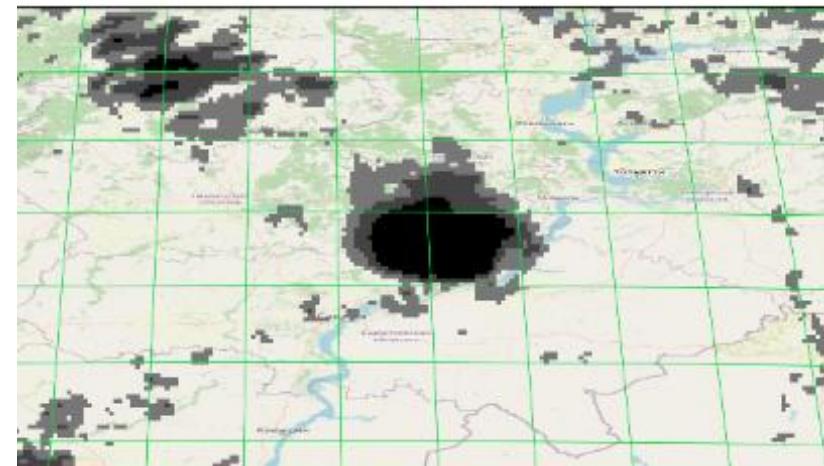
Пороговый метод: «холодная зона» МКК – это пиксели спутникового изображения в канале 10,8 мкм, яркостная температура которых не превышает 220 К. При ее наличии в анализ включаются окрестности этой зоны с температурами, не превышающими 230 К.



Границы зоны МКК

Границы МКК – это любой пиксел (на приведенной ниже схеме обозначен “О”), соседние пиксели которых (обозначены “Х”) не принадлежат к МКК.

X	X	X
X	O	X
X	X	X



Проверка односвязности МКК

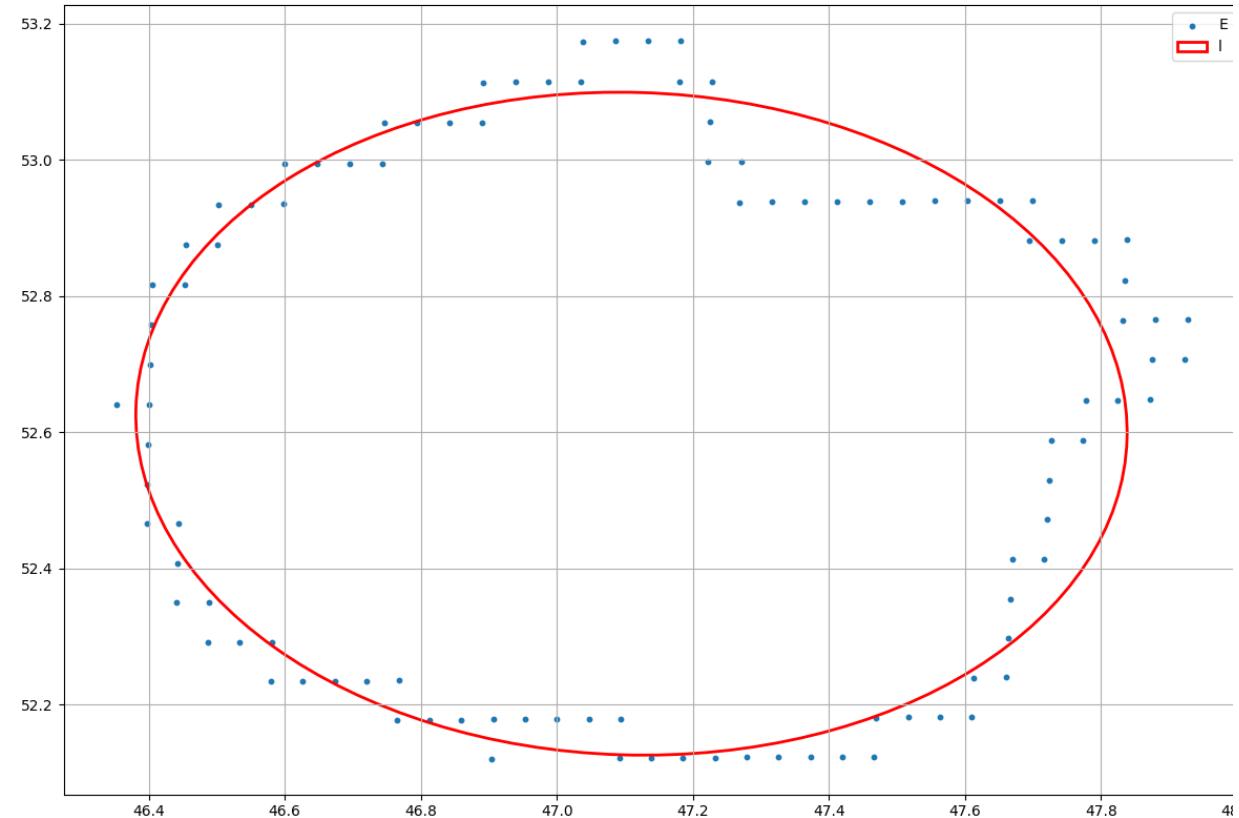
Связность проверяется через список или матрицу смежности. По числу компонентов связность определяется является ли тестируемое множество односвязным (число компонент = 1) или многосвязным (число компонент >1). Для односвязного множества проводятся вычисляются параметры эллипса, оптимально описывающего границу МКК.

Построение оптимального эллипса

Эллипс, оптимально описывает множество координат границы МКК в смысле наименьшего квадратичного отклонения.

Параметры эллипса оцениваются в рамках алгоритма, предложенного в работе (Fitzgibbon et al., 1999)

Fitzgibbon A., Pilu M., Fisher R.B. Pattern analysis and machine intelligence, vol. 21, no. 5, may 1999



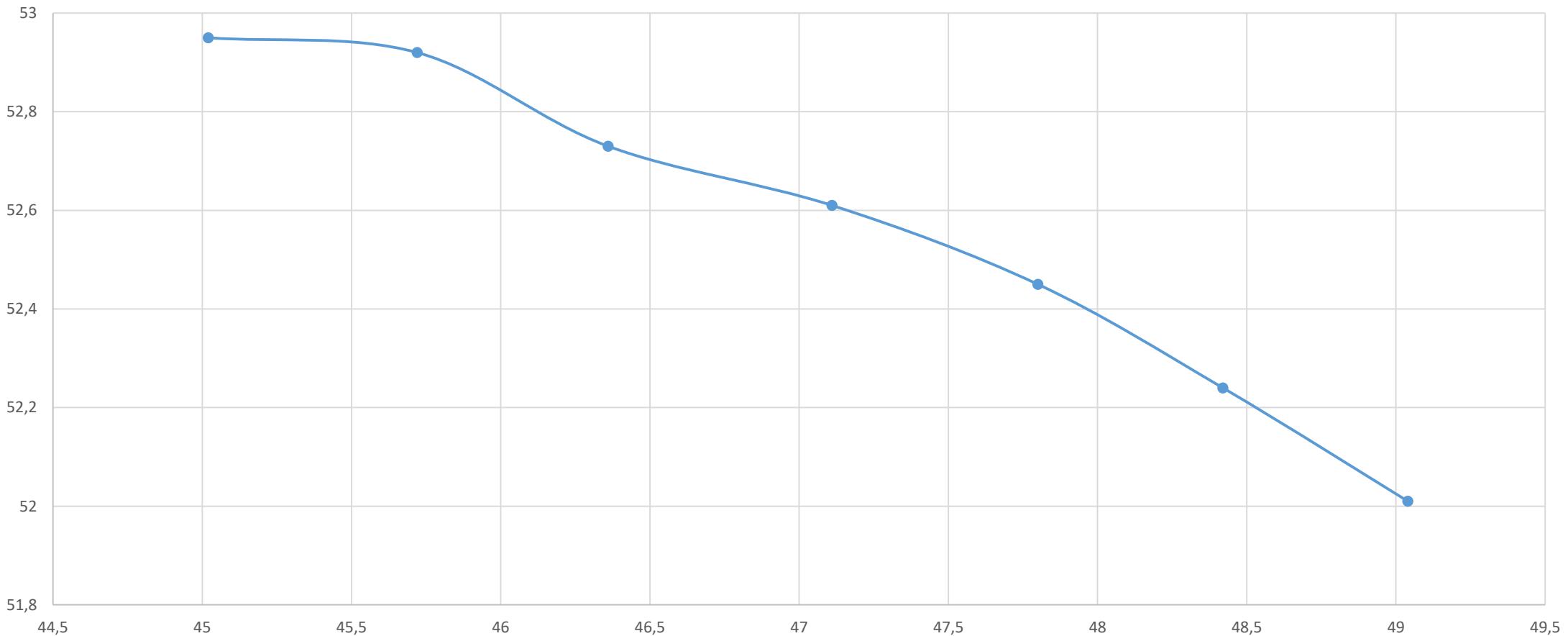
Параметры эллипса

Estimated Center (x, y): 47.11, 52.61

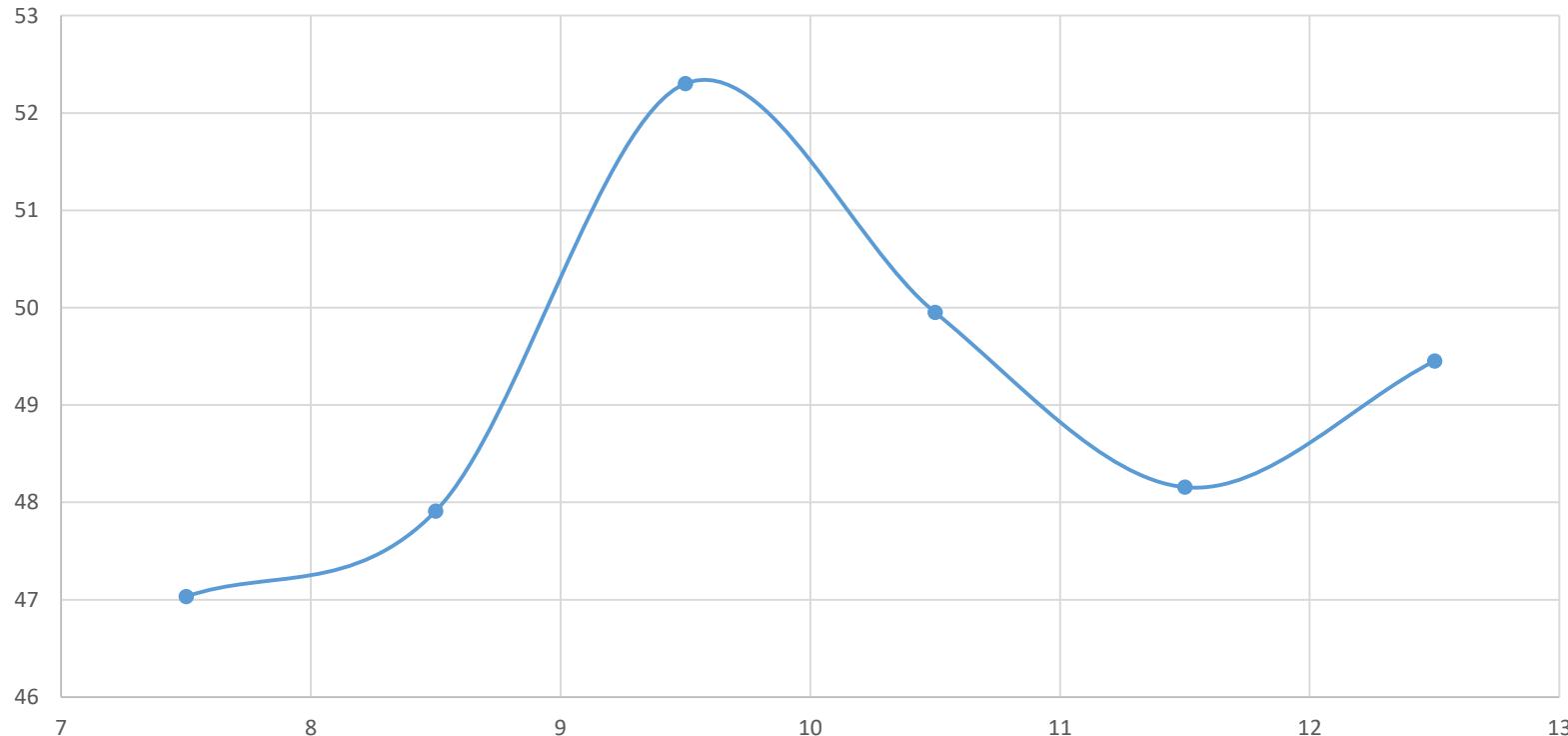
Estimated Semi-axes (a, b): 0.73, 0.49

Estimated Orientation (phi): 91.78

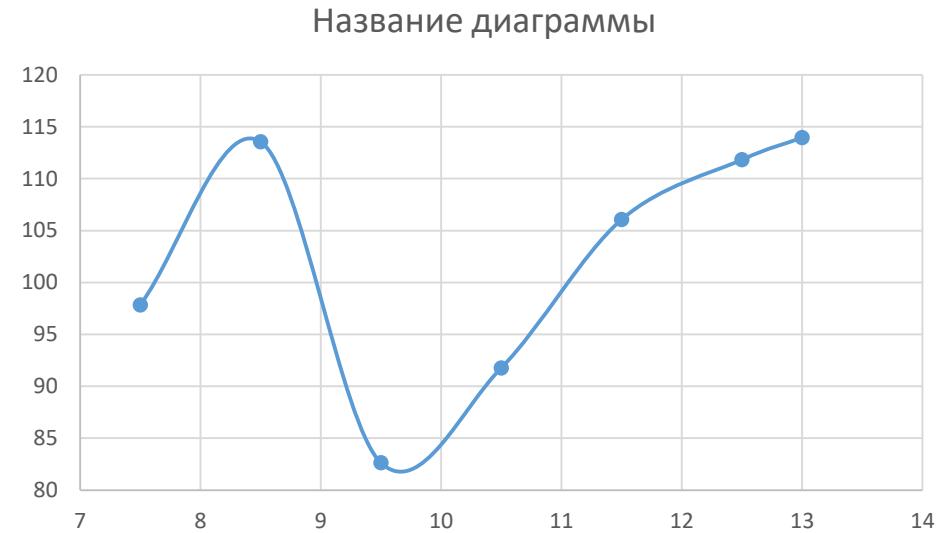
Перемещение центра МКК



Скорость перемещения центра МКК

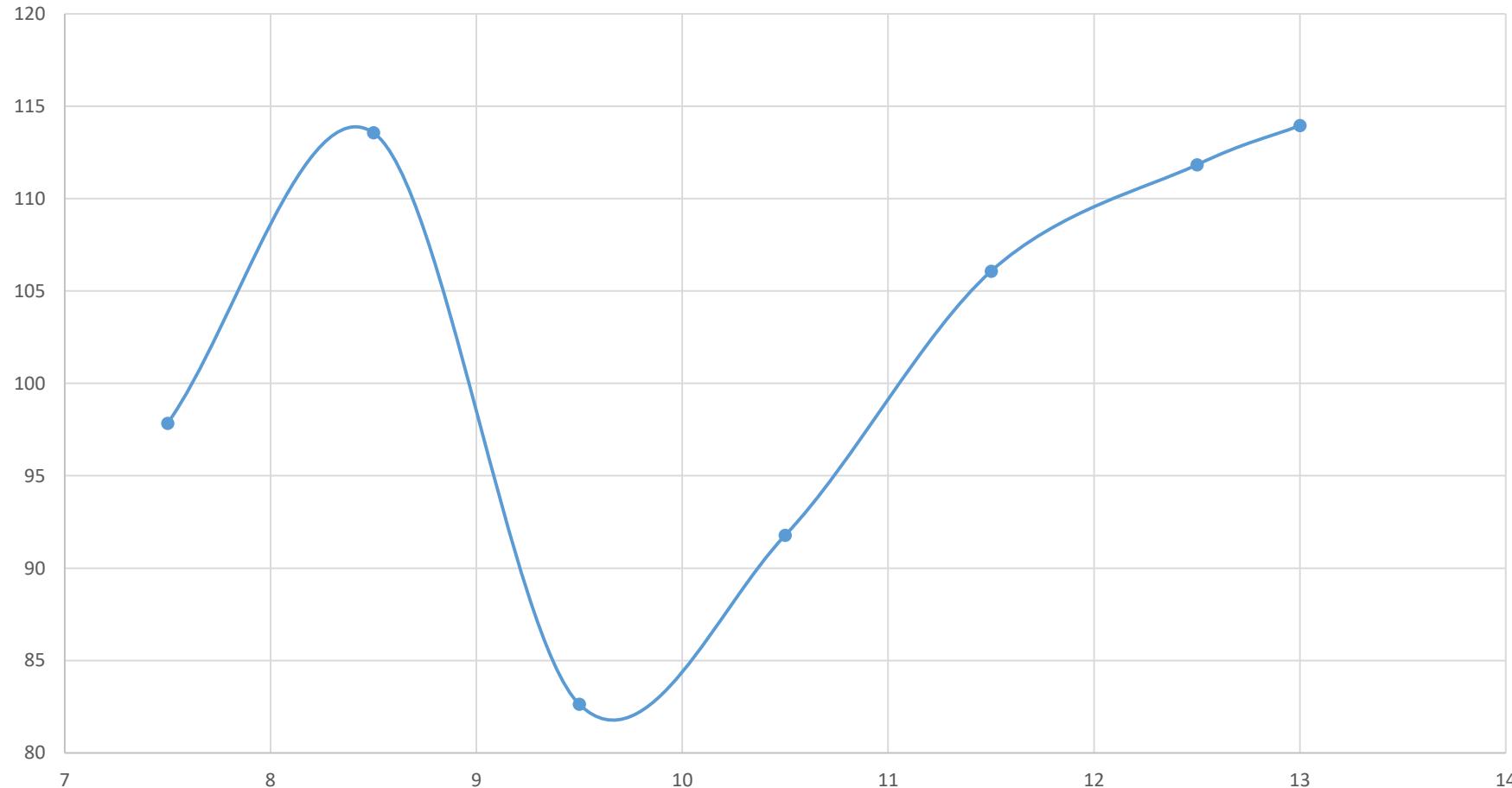


Поворот эллипса (относительно направления на северный полюс)

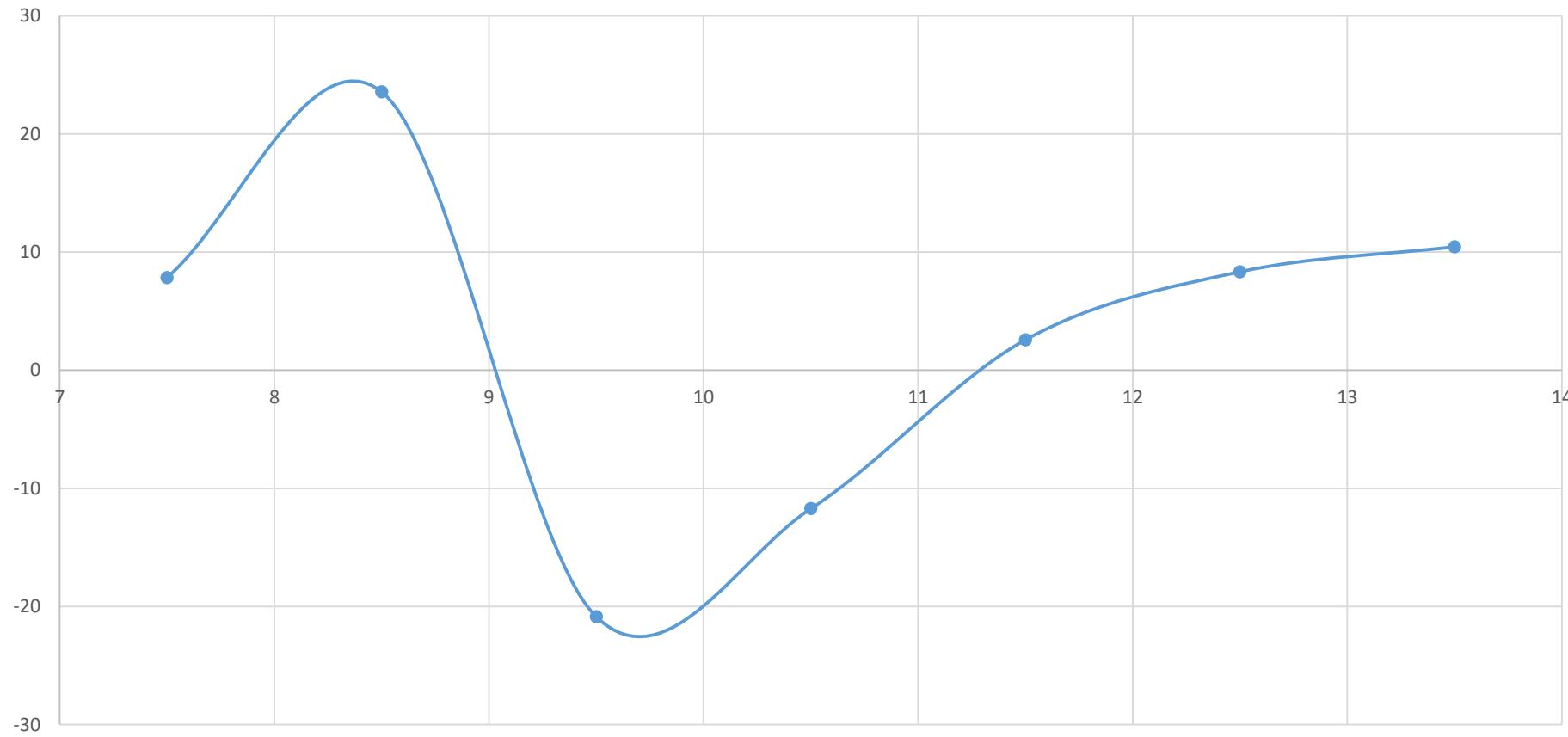


Поворот эллипса

(относительно направления на северный полюс)



Поворот эллипсоида (относительно перемещения центра МКК)



Заключение

В докладе представлены алгоритмы, позволяющие по данным ИК наблюдений в диапазоне 10,8 мкм обнаружить и оценить параметры МКК, описывающие их пространственную эволюцию (динамику), что позволяет использовать полученные оценки в прогностических целях для оценки возникновения опасных природных явлений.



Спасибо за внимание