

**МКК – мезомасштабные
конвективные комплексы**

Мезомасштабные конвективные комплексы (МКК)

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 овальной формы с безоблачным пространством в центральной части. Мезомасштабные конвективные комплексы в среднем существуют 12—16 часов. С ними могут быть связаны интенсивные ливни, грозы, шквалы, град, порывы ветра со скоростью более 30 м/с и даже смерчи.

Мезомасштабные конвективные комплексы могут давать начало развитию новых кучево-дождевых облаков и их скоплений. В ряде случаев они инициируют развитие мезоциклона, создавая в своем районе циклоническую циркуляцию.

Опасные природные явления. Часть III. Опасные явления погоды конвективного происхождения. Учебно-методическое пособие для вузов. Составитель А.В. Назаренко. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета. 2008. 61с.

Мезомасштабная конвективная система — МКС. Система облаков ансамбля гроз, образующая непрерывную область осадков размером не менее 100 кв. км по крайней мере в одном горизонтальном направлении. МКС характеризуется глубоким влажностным перемешиванием, примыкающим или встроенным в мезомасштабную вертикальную циркуляцию, которая, по крайней мере, частично вызвана конвективными процессами.

Мезомасштабный конвективный комплекс — МКК. Подмножество МКС, которые проявляются себя в виде большого кругового (по наблюдениям со спутника) долгоживущего холодного облачного щита.

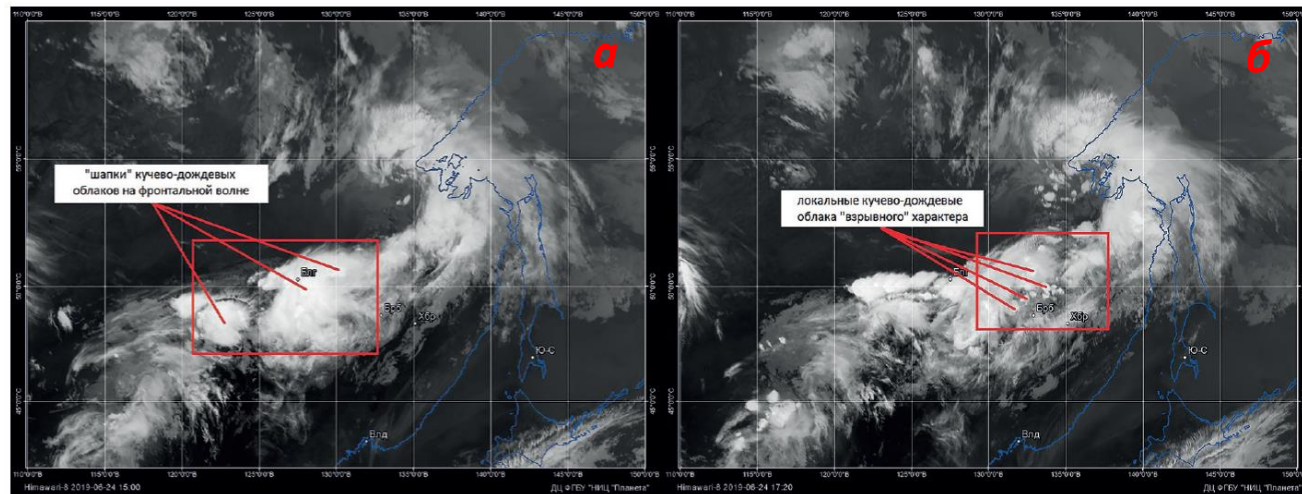
Холодный облачный щит обладает следующими физическими характеристиками:

- **Размеры:** **А** — облачный щит с постоянно низкой температурой инфракрасного (ИК) излучения $\leq -32^{\circ}\text{C}$ должен иметь площадь $\geq 105 \text{ км}^2$; и **В** — область внутренних холодных облаков с температурой $\leq -52^{\circ}\text{C}$ должна иметь площадь $\geq 0,5 \times 105 \text{ км}^2$.
- **Зарождение:** выполняются условия для размеров А и В.
- **Время существования:** условия для размеров А и В должны соблюдаться в течение ≥ 6 часов.
- **Максимальная протяженность:** сплошной холодный облачный щит (ИК-температура $\leq -33^{\circ}\text{C}$) достигает максимального размера.
- **Форма:** эксцентриситет (малая ось/большая ось) $\geq 0,7$ во время максимальной протяженности.
- **Прекращение:** определения размеров А и В больше не выполняются.

Glossary of Meteorology (2009). "[Mesoscale convective system](http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse?s=m&p=27)". [American Meteorological Society](http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse?s=m&p=27). В онлайн доступе: <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse?s=m&p=27> 15.12.2021.

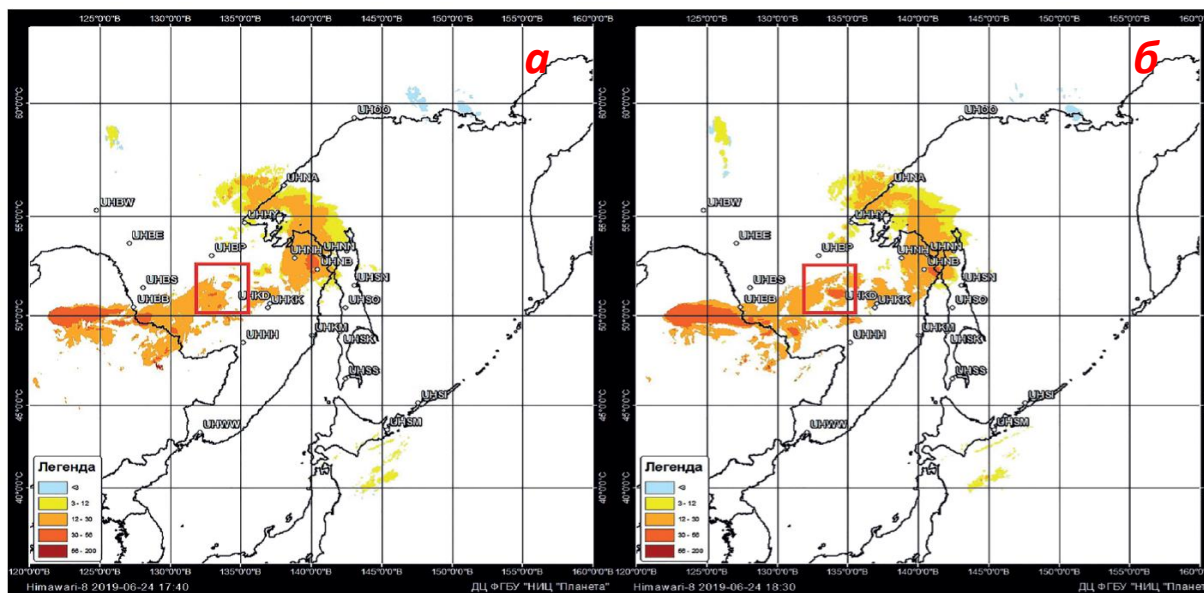
Актуальность проблемы оперативности обнаружения мезомасштабных опасных атмосферных явлений

- Высокая скорость развития (порядка 3-5 ч)
- Высокая интенсивность вызываемых ими осадков
- Плохая прогнозируемость локализации зон осадков



Интенсивность осадков по данным КА Himawari-8:

- а** (слева) — за 17:40 ВСВ 24.06.2019;
- б** (справа) — за 18:30 ВСВ 24.06.2019



Орбитальные СВЧ-радиометрические системы зондирования атмосферы

Спутник	Название инструмента	Геометрия сканирования, максимальный зенитный угол спутника (θ_{zen} , °), полоса обзора, км	Пространственное разрешение, км (на частоте 183 ГГц)	Дата запуска
Megha-Tropiques	SAPHIR (Sondeur Atmosphérique du Profil d'Humidité Intertropicale par Radiométrie)	Поперечный скан $\theta_{zen} = \pm 50,7^\circ$, полоса обзора = 1700	10	12.10.2011
Suomi-NPP/NOAA-20	ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder)	Поперечный скан $\theta_{zen} = \pm 64^\circ$ полоса обзора = 2503	16	28.10.2011/18.11.2017
NOAA-20	ATMS (Advanced Technology Microwave Sounder)	Поперечный скан $\theta_{zen} = \pm 64^\circ$ полоса обзора = 2503	16	
MetOp-A, MetOp-B, MetOp-C	MHS (Microwave Humidity Sounder)	Поперечный скан $\theta_{zen} = \pm 50^\circ$ полоса обзора = 1920	16	19.10.2006
NOAA-18, NOAA-19	MHS (Microwave Humidity Sounder)	Поперечный скан $\theta_{zen} = \pm 50^\circ$ полоса обзора = 1920	16	20.05.2005
DMSP F17, DMSP F18	SSM/I/S (Special Sensor Microwave Imager/Sounder)	Конический скан $\theta_{zen} = 53,1^\circ$ полоса обзора = 1707	13,1x14,4	04.11.2006
Метеор-М» № 2-2	МТВЗА-ГЯ (Модуль Температурного и Влажностного Зондирования Атмосферы)	Конический скан $\theta_{zen} = 65^\circ$ полоса обзора = 1500	9x21	05.07.2019
Global Change Observation Mission 1st - Water "SHIZUKU" (GCOM-W1)	AMSR-2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2)	Конический скан $\theta_{zen} = 55^\circ$ полоса обзора = 1450	3 x 5 (89 ГГц)	18.05.2012

Проблема

Единый полярно-орбитальный спутник как, например Метеор-М с СВЧ аппаратурой МТВЗА-ГЯ, не может гарантированно обнаружить и на протяжении всего жизненного цикла с достаточной частотой наблюдения обеспечить мониторинг МКК, поскольку для этого необходимо обеспечивать повторяемость наблюдений порядка 3 ч (см. характеристики МКК ниже). Для этого нужны данные, собранные группировкой из 4-6 КА.

Это обусловлено тем, что холодный облачный щит МКК обладает следующими физическими характеристиками:

- **Размеры:** **A** — облачный щит с постоянно низкой температурой инфракрасного (ИК) излучения $\leq -32^{\circ}\text{C}$ должен иметь площадь $\geq 10^5 \text{ км}^2$; и **B** — область внутренних холодных облаков с температурой $\leq -52^{\circ}\text{C}$ должна иметь площадь $\geq 0,5 * 10^5 \text{ км}^2$.
- **Время существования:** условия для размеров A и B должны соблюдаться в течение ≥ 6 часов.

Поэтому при отсутствии полярной-орбитальной группировки СВЧ радиометрического зондирования атмосферы необходимы дополнительные источники информации, заполняющей лакуны, вызванные редкой периодичностью, а по существу, низким временным разрешением, наблюдений атмосферы с полярно-орбитальных платформ.

Потенциальные решения

В настоящее время потенциально могут быть предложены 3 решения проблемы повышения частоты повторяемости наблюдений

- 1) Создание специальной полярно-орбитальной группировки до 12 КА (эволюционное развитие, значительные затраты, не существует и в ближайшие годы не будет реализовано)
 - 2) Использование полярно-орбитальной группировки общего назначения (значительные затраты, большой временной лаг)
 - 3) Использование данных наблюдений с геостационарных платформ (возможно, требует научно-методической доработки, к реализации можно приступить немедленно)
-

Приемлемое решение

Использование данных наблюдений с геостационарных платформ (возможно, требует научно-методической доработки, к реализации можно притупить немедленно)

Геостационарная платформа	Страна, агентство	Пространственное наблюдение в тепловом ИК диапазоне, км	Периодичность регистрации сцен, м
Электро-L	Россия, Роскосмос	4	30 (авто), 10÷15 (по команде)
Himawari	Япония, JAXA	2	10
MSG	ЕС, EКА	3	15

Ограничения на применение геостационарных сенсоров видимого и ИК диапазонов

Видимый диапазон – зависимость от освещенности, слабая зависимость КСЯ от высоты и температуры верхней границы облачности

Тепловой ИК диапазон – непрямая зависимость интенсивности теплового ИК излучения верхнего слоя облачности от параметров облачного слоя и значений интенсивности осадков, зависимость от региональных и сезонных условий наблюдений, что требует постоянной перекалибровки ИК данных

Определение количества осадков по ИК наблюдениям

Ожидаемое значение максимального количества осадков рассчитывается по эмпирической формуле:

$$Q_{\text{макс}} = \gamma \lambda H^2$$

λ – коэффициент, зависящий от типа облачной системы [1], $\lambda = 1 \div 5$,

γ - эмпирический коэффициент, зависящий от формы облаков ($\gamma = 0,087$ для конвективных облаков и $\gamma = 0,043$ для слоисто-дождевой облаков),

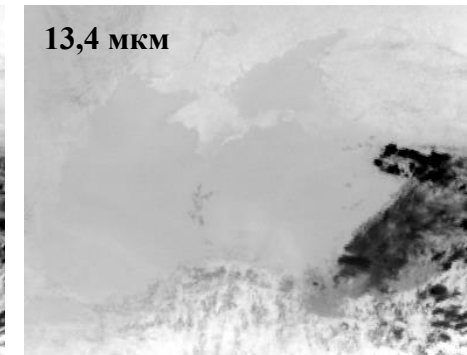
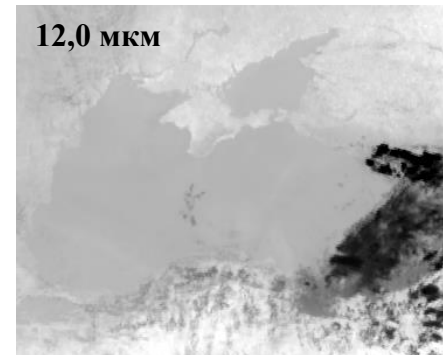
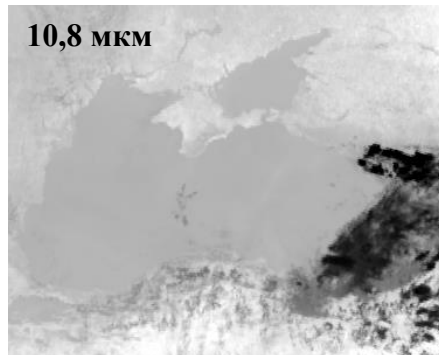
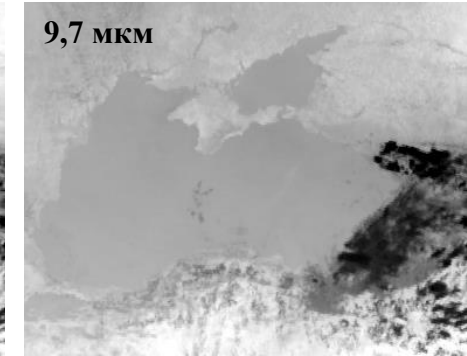
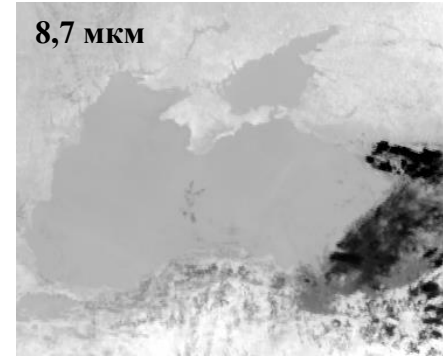
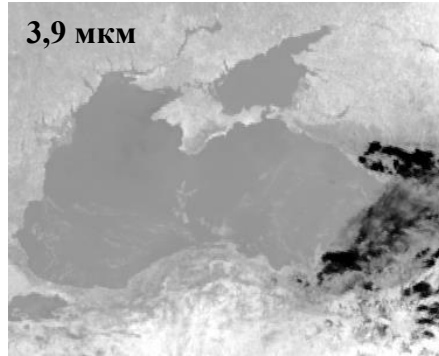
H – максимальная высота верхней границы облачности (в км)

*В.В. Иванов, А.В. Черепанов, А.И. Сухинин, С.И. Миськив, В.Ю. Ромасько.
Восстановление полей метеорологических элементов по спутниковым
изображениям облачности // Современные проблемы дистанционного
зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 3. – № 1. – С. 280–286.*

Обнаружение МКК

Тепловые ИК изображения Черного моря по данным прибора SEVIRI, установленного на геостационарном спутнике MSG Meteosat-8 Европейского космического агентства. Видно, что тепловые ИК изображения в канале 13,4 мкм существенно отличаются от изображения в канале 3,9 мкм.

Особенно значительно это выражено в том, что на длинноволновом изображении практически полностью отсутствует контраст между водной поверхностью и сушей в области Таманского полуострова, что является следствием большего поглощения теплового ИК излучения диапазоне 13,4 мкм.



**Данные спутникового ИК-мониторинга (MSG Meteosat-8, SEVIRY)
14.07.2021 10:57:41-10:57:57.**

Синхронизация актуальных ИК и СВЧ данных

Данные наблюдений МКК принимаются синхронными при расхождении сроков их регистрации

1) по времени – не более 3-6 ч;

2) по расстоянию – не более 50 км.

Если указанные условия не выполнены, необходимо использовать прогнозные модели атмосферных процессов

Восстановление интенсивности конвективных осадков по данным спутниковых ИК наблюдений

Эмпирическая зависимость высоты ВГО от значения радиояркостной температуры [1]:

$$H_{\text{ВГО}} = - K T_{\text{ярк}} \quad (1)$$

$T_{\text{ярк}}$ – яркостная температура верхнего слоя облаков, K – эмпирический коэффициент зависимости, меняющийся при использовании модуля в разной местности и в разное время года.

Среднее суммарное количество конвективных осадков, которые выпадают за 90 минут из выбранной облачной системы (R_{90}), рассчитывают по эмпирической зависимости:

$$R_{90} = 0,00025(5 - T_p)^{2,61} \quad (2)$$

Ожидаемое значение максимального количества осадков рассчитывается по эмпирической формуле:

$$Q_{\text{макс}} = \gamma \lambda H^2 \quad (3)$$

λ – коэффициент, зависящий от типа облачной системы [1], $\lambda = 1 \div 5$,

γ - эмпирический коэффициент, зависящий от формы облаков ($\gamma = 0,087$ для конвективных облаков и $\gamma = 0,043$ для слоисто-дождевой облаков),

H – максимальная высота верхней границы облачности (в км)

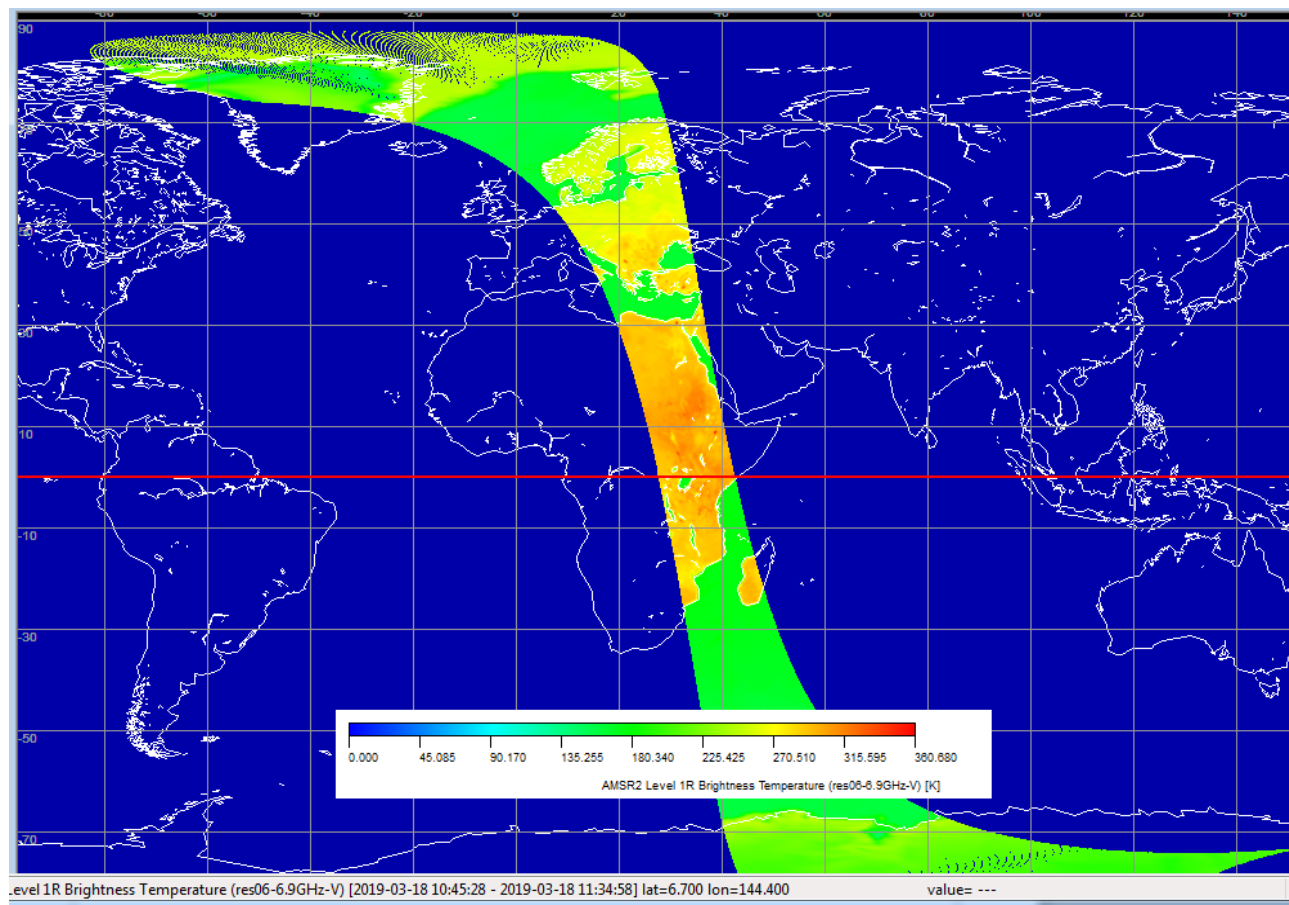
*В.В. Иванов, А.В. Черепанов, А.И. Сухинин, С.И. Миськив, В.Ю. Ромасько.
Восстановление полей метеорологических элементов по спутниковым изображениям облачности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2006. – Т. 3. – № 1. – С. 280–286.*

Восстановление интенсивности конвективных осадков по данным спутниковых СВЧ наблюдений

Одним из необходимых требований для достижения оперативности обнаружения опасных атмосферных явлений спутниковыми средствами является обеспечение всепогодности наблюдений.

Для своевременного обнаружения опасных природных явлений необходимо использовать средства и методы наблюдений, не зависящие от условий освещенности, в том числе, в ночных условиях и при наличии плотного облачного слоя.

Эти требования к всепогодности предоставляют, в частности, средства спутникового СВЧ–радиометрического зондирования.



Данные спутникового
СВЧ-мониторинга (GCOM-2, 6.9V)

Коррекция модельных оценок параметров МКК по ИК данным

Для выбранного γ
в выражении $Q_{\max} = \gamma \lambda N^2$
 λ принимается равным значению,
минимизирующему величину $(Q_{\max}^{\text{ИК}} - Q_{\max}^{\text{СВЧ}})^2$

на множестве данных ИК и СВЧ измерений, отнесенных к
выбранному МКК

Прогнозирование зон интенсивных осадков

Прогнозирование перемещения МКК

+

Оценка $Q_{\text{макс}}$, превышающая пороговое значение для данного региона в заданный отрезок времени

Моделирование функционирования системы обнаружения и мониторинга МКК

$$\mathbf{F} = (\mathbf{J}^T \mathbf{C}_{ee}^{-1} \mathbf{J} + \mathbf{C}_{aa}^{-1})^{-1}$$

\mathbf{C}_{aa} - ковариационная матрица вектора состояния атмосферы \vec{a} ,

\mathbf{C}_{ee} - ковариационная матрица собственных шумов СВЧ радиометрического многоканального комплекса,

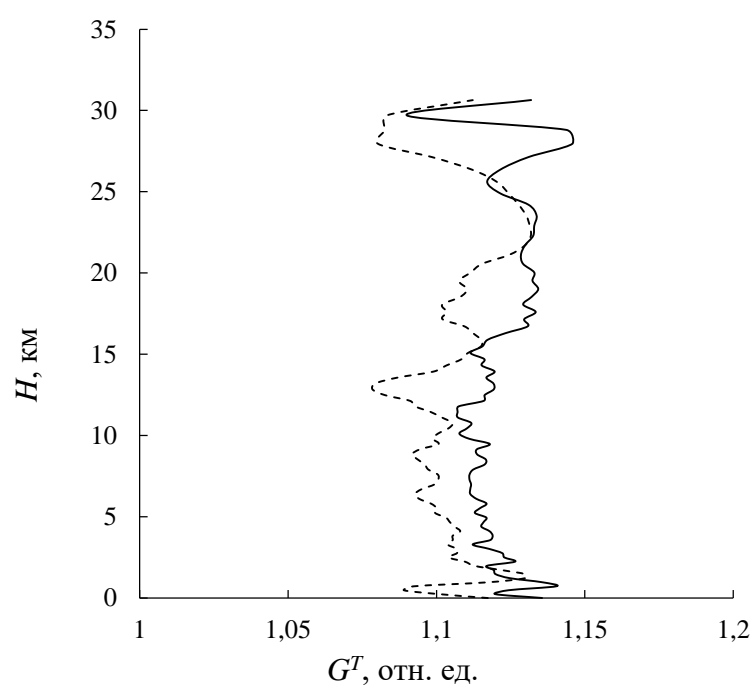
\mathbf{J} - якобиан радиояркостных температур СВЧ радиометрического многоканального комплекса для вектора состояния атмосферы \vec{a} ,

\mathbf{T} - знак транспонирования.

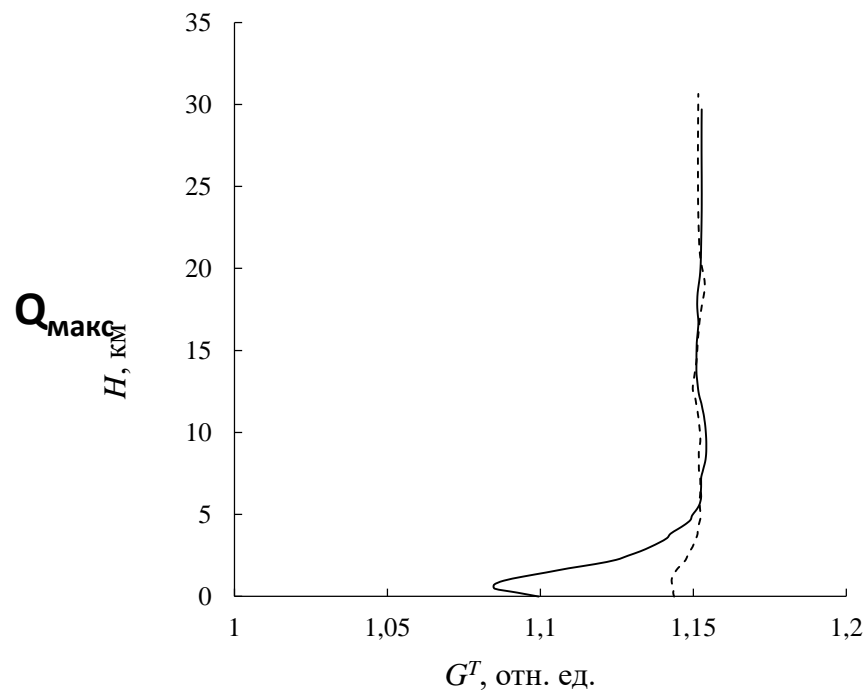
$$\mathbf{C}_{aa}^t = \mathbf{T} \mathbf{C}_{aa}.$$

$$\mathbf{T}_{kk} = 1 - e^{-\frac{t-t_0}{\Delta t}}.$$

Профили относительной эффективности учета временной корреляции



a



b

Профили $G_k^t, k = \overline{1, 2 \times K}$ относительной эффективности для оценок температуры (a) и влажности (b) воздуха

Актуальные данные наблюдений в видимом и ИК диапазоне с геостационарных платформ

The image shows a multi-step process of data selection on the EUMETSAT Data Services portal. It starts with a search for 'Atlantic Sea', leading to a list of products. A specific product, 'Cloud Mask - MSG - 0 degree', is selected, showing a list of 97 products with filters for time range and sorting. A detailed view of the selected product is shown, including its metadata and a map of the satellite's field of view.

Прототип – интерактивный выбор данных

Разработан и реализован полностью автоматизированный скрипт Python `AutoDataOrder.py` (ниже иллюстрация базовой технологии)

```
import webdriver
from selenium.webdriver.support.ui
import WebDriverWait
from selenium.webdriver.support
import expected_conditions as EC
from selenium.webdriver.common.by
import By
driver = webdriver.Chrome()
driver.get('https://portal.remote.any/...')
driver.find_element_by_id('username').send_keys('*****')
driver.find_element_by_id('password').send_keys('*****')
driver.find_element_by_name('submit').click()
WebDriverWait(driver, 10).until(EC.element_to_be_clickable((By.ID,
'gwt-uid-276'))).click()
WebDriverWait(driver,
10).until(EC.element_to_be_clickable((By.XPATH, "//*[@contains(text(),
'Next Step')]"))).click()

WebDriverWait(driver,
10).until(EC.element_to_be_clickable((By.XPATH, "//*[@contains(text(),
'Next Step')]"))).click()
```

Актуальные данные СВЧ-зондирования с полярно-орбитальных платформ

СВЧ-радиометры серии AMSR-2, функционирующие в рамках проекта GCOM (Global Change Observation Mission), позволяют отслеживать геофизические параметры, связанные с температурой водной поверхности, снега, льда и распределением влаги в верхних слоях почвогрунтов.

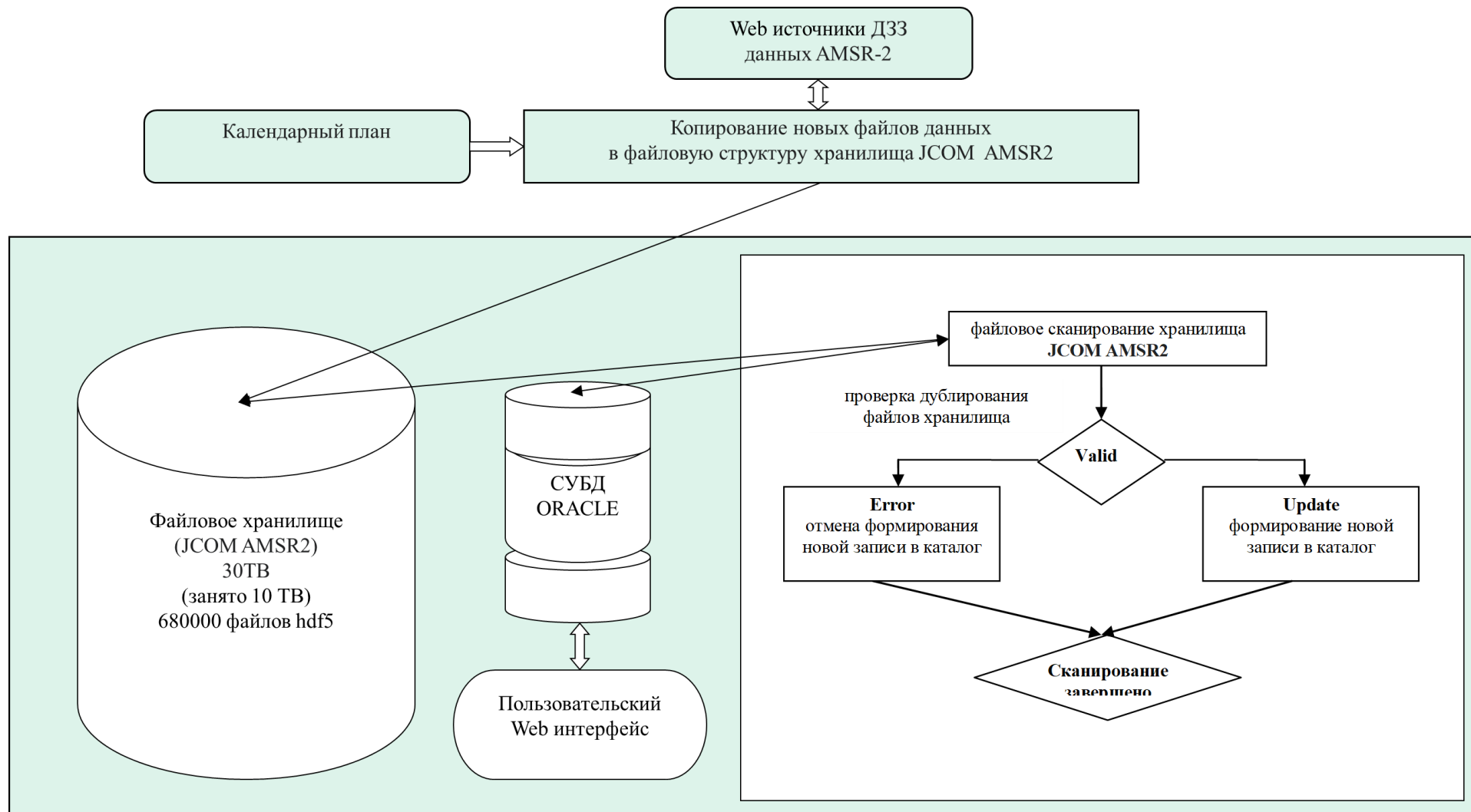
Хранилище объемом 30 ТБ содержит около 680 000 файлов данных (полученных за истекший период наблюдений) микроволновых сканирующих радиометров серии AMSR-2 общим объемом около 10 ТБ.

Функциональная схема хранилища GCOM AMSR2 приведена ниже.

Для обеспечения эффективной работы с хранилищем на базе СУБД ORACLE в рамках работы разработан Автоматизированный каталог файлового хранилища JCOM AMSR2 (разработчик В.Н. Стрельников), обеспечивающий:

- хранение в СУБД ORACLE;
 - автоматизированное обновление каталога;
 - поиск файлов по всем реквизитам;
 - выборку файлов из хранилища;
 - общее администрирование автоматизированного каталога.
-

Функциональная схема автоматического доступа к хранилищу JCOM AMSR2



Структура таблицы GCOM и пример данных автоматизированного каталога

The screenshot shows the Oracle SQL Developer interface. On the left, the 'Connections' pane shows the 'GCOM' schema. The main window displays the table structure for 'GCOM' with columns: OBSER..., SENSORS, YEAR, MOUNTH, L1, L1R, FILE_SIZE, V..., SATELLITE, SENSOR, OBS_START_TI..., PAS..., and ORBI... Below the table structure, a grid of data is visible, showing 18 rows of GCOM records. At the bottom, a plot window is open, showing 'Array 1: Geophysical_Data_for_89A' with a value of 1.

OBSER...	SENSORS	YEAR	MOUNTH	L1	L1R	FILE_SIZE	V...	SATELLITE	SENSOR	OBS_START_TI...	PAS...	ORBI...	
1	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 377 108	2	GW1AM2	AM2	201208181916	136	D
2	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 447 248	2	GW1AM2	AM2	201208270241	208	D
3	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 447 248	2	GW1AM2	AM2	201208231438	091	D
4	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 447 248	2	GW1AM2	AM2	201208031642	111	D
5	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 552 458	2	GW1AM2	AM2	201208021151	056	A
6	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 342 038	2	GW1AM2	AM2	201208210318	214	D
7	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 587 528	2	GW1AM2	AM2	201208140402	213	A
8	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 657 668	2	GW1AM2	AM2	201208170254	202	A
9	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 657 668	2	GW1AM2	AM2	201208041318	070	A
10	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 377 108	2	GW1AM2	AM2	201208111553	103	D
11	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 482 318	2	GW1AM2	AM2	201208260247	201	A
12	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 447 248	2	GW1AM2	AM2	201208190013	184	D
13	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 447 248	2	GW1AM2	AM2	201208180426	225	D
14	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 657 668	2	GW1AM2	AM2	201208281725	110	A
15	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 447 248	2	GW1AM2	AM2	201208290318	206	A
16	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 412 178	2	GW1AM2	AM2	201208020605	008	D
17	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 833 018	2	GW1AM2	AM2	201208050547	230	A
18	GCOM	AMSR2	2012	08	L1	L1R	71 412 178	2	GW1AM2	AM2	201208311528	099	D

Web интерфейс страницы поиска файлов по их реквизитам

The screenshot shows a web browser window with the URL localhost/SampleSites/bas0/sat/contentbs.php. The page title is 'Поиск сеансов в Архиве спутниковых данных дистанционного зондирования GCOM'. The main heading is 'Поиск сеансов в Архиве спутниковых данных дистанционного зондирования GCOM'. Below the heading, there are two sections of search criteria. The first section is 'Выберите сцену дистанционного зондирования...' and the second is 'Выберите уровень обработки спутниковых данных...'. Each section contains several dropdown menus for selecting search criteria. At the bottom, there is a button labeled 'Выбрать сеансы из Архива данных зондирования GCOM'.

Web интерфейс страницы автоматизированного обновления каталога

The screenshot shows a web browser window with the URL localhost/SampleSites/bas0/sat/getdirectory.html. The page title is 'Сеансы спутниковых наблюдений'. The main heading is 'Сеансы спутниковых наблюдений:'. Below the heading, there is a text input field for the full path to scan for files, with the value '\\Ds_30d\lab301\jaha\GCOM\AMSR2\2019\2019_01\L2\PRC\2'. Below the input field, there is a button labeled 'Найти файлы в директории: 33'. Below the button, there is a text input field for the number of new records in the database, with the value 'Итого новых записей в БД=33'. Below the input field, there is a text input field for the number of duplicate files, with the value 'Итого дублирующих файлов =0'. Below the input field, there is a button labeled 'Обновить сеансы в БД'. At the bottom, there is a button labeled 'Вернуться к сканированию сеансов...'.

Автоматическое считывание прогнозных данных

```
import time
from selenium import webdriver
urlsite="https://***.*****.***/ing/44.20/38.50,8.886,5"# sounding
driver = webdriver.Chrome()
driver.get(urlsite)
time.sleep(5)
nodes=driver.find_elements_by_tag_name('path')
#print(nodes[2].get_attribute('d'))
f=open("temprtst.txt","w")
f.write(nodes[2].get_attribute('d'))
f.close()
f=open("humtst.txt","w")
f.write(nodes[3].get_attribute('d'))
f.close()
driver.quit()
```

Заключение

В работе представлена информационная система, обеспечивающая автоматизированную интеграцию информационных ресурсов ДЗЗ в задачах оперативного обнаружения и мониторинга опасных атмосферных явлений и процессов. Наряду с повышением точности восстановления атмосферных профилей предложенный подход призван обеспечивать повышение бесперебойности (устойчивости к изменению конфигурации источников данных) функционирования системы благодаря использованию модельных прогнозов развития атмосферных процессов. Эффективность подхода подтверждена результатами модельных расчетов и тестирования с реальными источниками данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН № 075-01133-22-00 и
при частичной поддержке гранта РФФИ № 20-07-00680 А



Спасибо за внимание!