

Методика расчета элементов гидрологического
баланса территорий по данным спутникового
радиотеплового мониторинга

Д.М. Ермаков

Поздравляем молодых сотрудников отдела!

Д.С. Сазонов – победитель *конкурса научных работ ИКИ РАН 2023 года* в молодежной номинации за цикл работ «Восстановление геопараметров системы «океан-атмосфера» по радиометрическим измерениям прибора МТВЗА-ГЯ»

По результатам конкурса молодежных докладов на 21-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН:

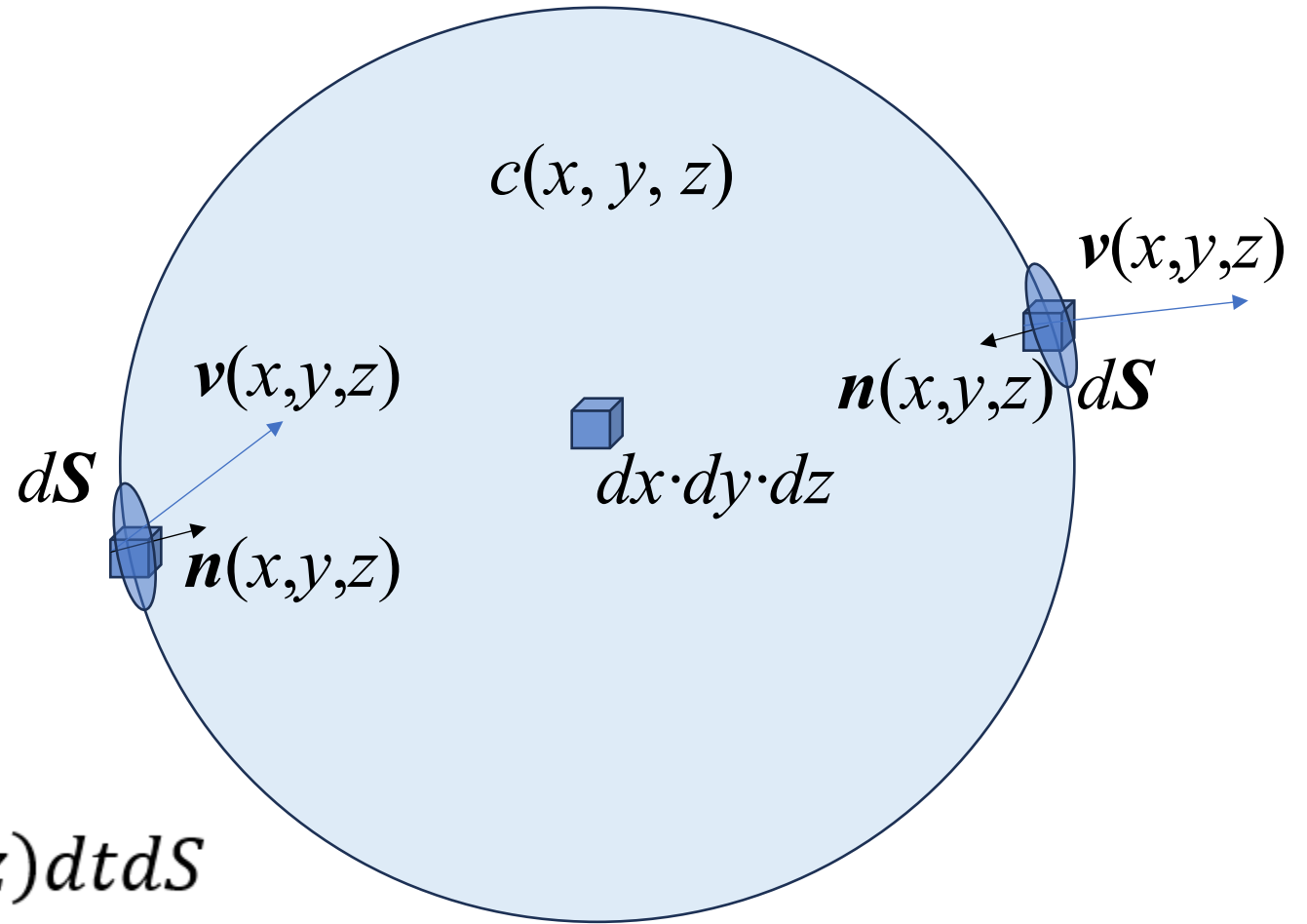
Е.В. Пашинов – первая премия за доклад «Методика восстановления баланса парниковых газов в атмосфере Земли по данным ДЗЗ».

А.Н. Якушева – поощрительная грамота за доклад «Развитие процедур автоматического детектирования и локализации центров тропических циклонов на спутниковых изображениях»

П.Д. Жаданова и **К.Р. Назирова** – поощрительная грамота за доклад «Определение мутности и концентрации взвешенного вещества с помощью алгоритмов, встроенных в программный комплекс ASCOLITE: анализ и верификация»

Основные соотношения балансового расчета

$$M = \iiint_V c(x, y, z) dx dy dz$$



$$dM = c(x, y, z) \mathbf{v}(x, y, z) \mathbf{n}(x, y, z) dt dS$$

$$F = c(x, y, z) \mathbf{v}(x, y, z) \mathbf{n}(x, y, z)$$

Основные соотношения балансового расчета

$$\frac{d}{dt} \iiint_V C(x, y, z) dx dy dz = \oiint_S F(x, y, z) dS$$

↑
Объемное содержание

↑
Поток через границу

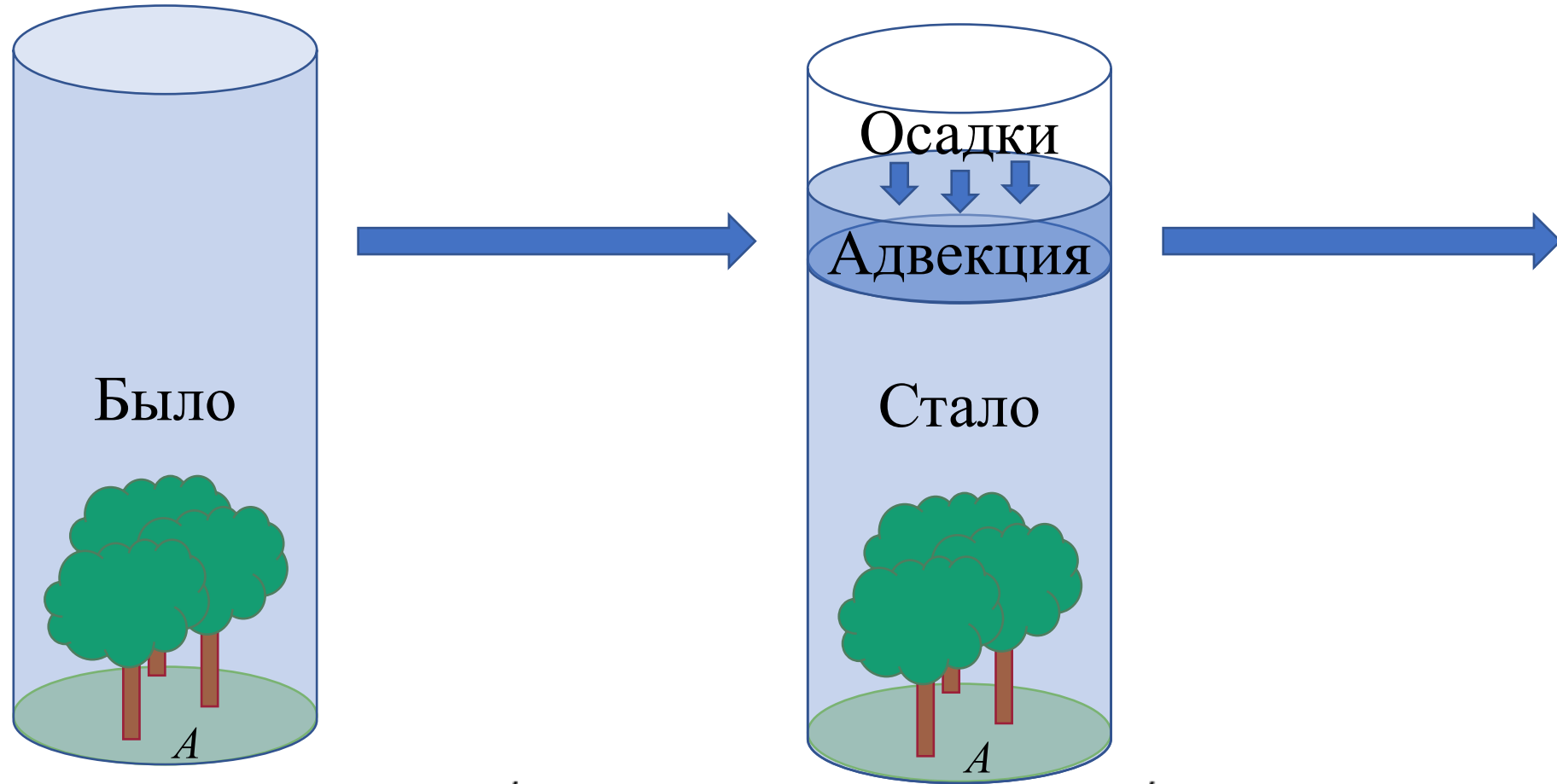
$$\frac{d}{dt} \iint_A dx dy \int_0^{+\infty} C(x, y, z) dz = \oiint_{S/A} F(x, y, z) dS + \oiint_A F(x, y, z) dS$$

↑
Интегральное содержание

↑
Горизонтальный перенос

↑
Вертикальный обмен

Основные соотношения балансового расчета

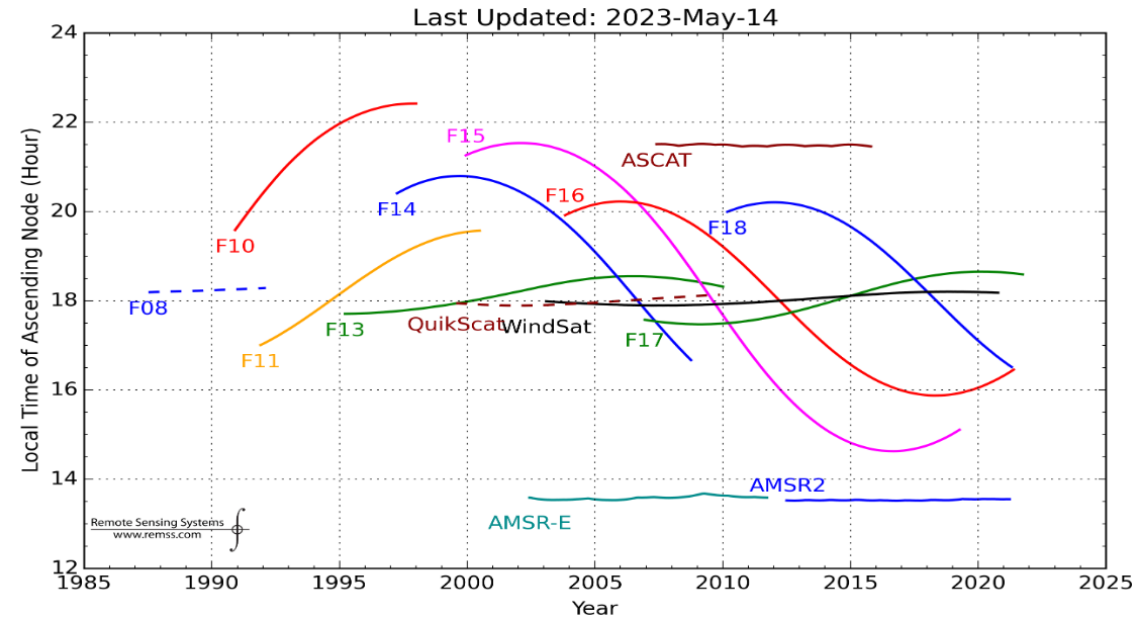
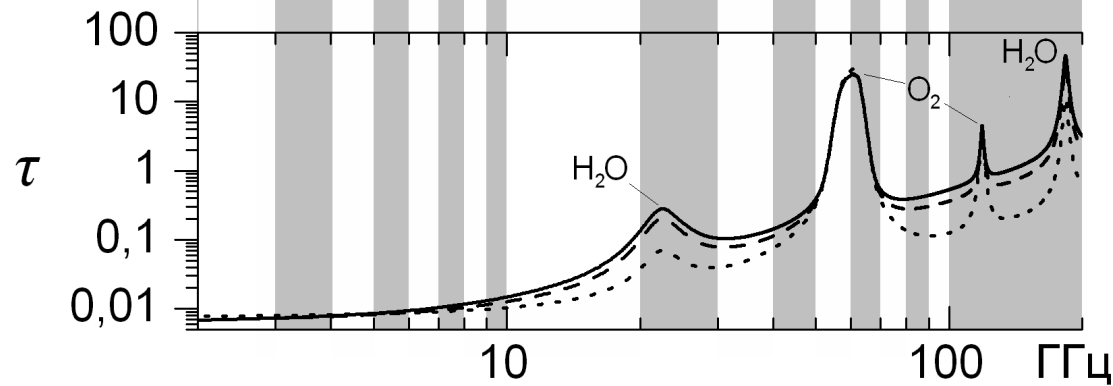
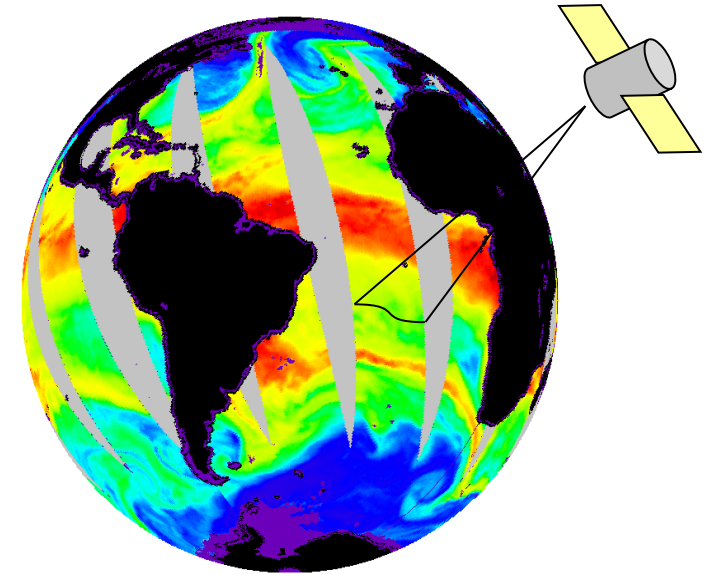


$$\Delta \iint_A dx dy \int_0^{+\infty} C(x, y, z) dz = \int_{t_1}^{t_2} dt \iint_{S/A} F(x, y, z) dS + \int_{t_1}^{t_2} dt \iint_A F(x, y, z) dS$$

Изменение общего содержания Накопленная конвергенция Интегральный обмен

Дистанционное определение интегрального влагосодержания

1	10	100 ГГц	
Прибор (носитель)	Измерительные каналы		Страна (годы)
(Космос-243) (Космос-384)	↓	↓	СССР (1968, 70)
ESMR, NEMS (Nimbus-5)		↓ ↓ ↓ ↓	США (1972-83)
ESMR, SCAMS (Nimbus-6)		↓ ↓ ↓ ↓	США (1975-83)
SMMR (Seasat-A, Nimbus-7)	↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓	США (1978), (1978-94)
SSM/I (DMSP F08..F15)		↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	США (1987-2018)
SSMIS (DMSP F16..F19)		↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	США (с 2003)
AMSR-E (Aqua)	↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	Япония (2002-11)
AMSR-2 (GCOM-W1)	↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	Япония (2012-18)
МТВЗА-ГЯ (Метеор-М...)	↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	Россия (с 2010)



Возможности восстановления интегрального влагосодержания над сушей

Earth Syst. Sci. Data, 9, 791–808, 2017
 https://doi.org/10.5194/essd-9-791-2017
 © Author(s) 2017. This work is distributed under
 the Creative Commons Attribution 3.0 License.

Open Access
 Earth System
 Science
 Data



A global satellite environmental data record derived from AMSR-E and AMSR2 microwave Earth observations

Jinyang Du¹, John S. Kimball¹, Lucas A. Jones¹, Youngwook Kim¹, Joseph Glassy², and
 Jennifer D. Watts¹

¹Numerical Terradynamic Simulation Group, W.A. Franke College of Forestry and Conservation,
 the University of Montana, Missoula, MT 59812, USA

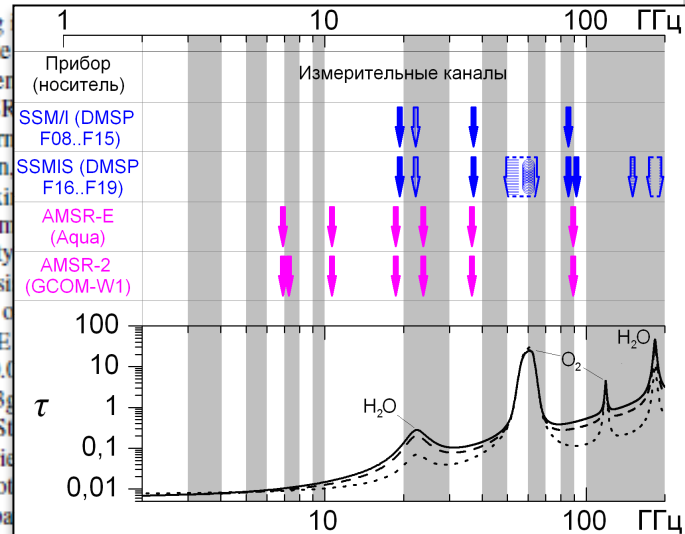
²Lupine Logic, Inc., Missoula, MT 59802, USA

Correspondence to: Jinyang Du (jinyang.du@ntsg.umt.edu)

Received: 6 April 2017 – Discussion started: 18 April 2017

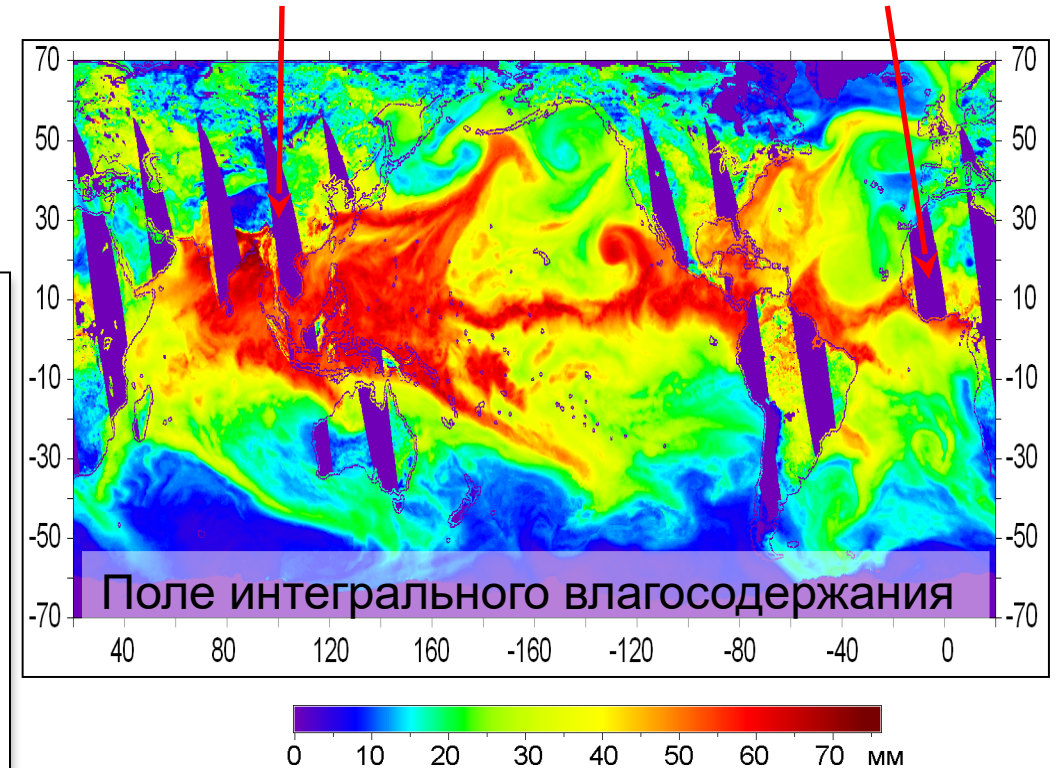
Revised: 11 September 2017 – Accepted: 13 September 2017 – Published: 1 November 2017

Abstract. Spaceborne microwave remote sensing understanding hydrological, ecological, and climate was generated using similar calibrated, multifrequency Microwave Scanning Radiometer for EOS (AMSR (AMSR2)). The resulting LPDR provides a long-term environmental observations at a 25 km grid cell resolution sphere precipitable water vapor (PWV), daily maximum vegetation optical depth (VOD), and surface volumetric climatology means and seasonal variability AMSR2 (2013–2015) observation periods is consistent. Quantitative comparisons with independent observations ($R \geq 0.75$; $RMSE \leq 0.06$), PWV ($R \geq 0.91$; $RMSE \leq 0.06$), VSM ($0.63 \leq R \leq 0.84$; bias-corrected $RMSE \leq 0.06$), biomass structure and photosynthetic greenness. Small biases between AMSR-E and AMSR2 retrieval environmental trends. The resulting LPDR and potential for effective global monitoring of environmental parameters, and mobility and are suitable for climate and ecosystem studies. The LPDR dataset is publicly available at http://files.ntsg.umt.edu/data/LPDR_v2/.



Приборы серии AMSR (-E/2) функционируют в единственном экземпляре, что приводит к пропускам данных

Полное покрытие дают приборы серии SSM/I, SSMIS



Возможности восстановления интегрального влагосодержания над сушей

Концепция потоковой обработки данных российских спутниковых СВЧ-радиометров **серии МТВЗА** на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг»

Д.М. Ермаков^{1,2}, А.В. Кузьмин¹, А.А. Мазуров¹, Е.В. Пашинов¹, И.Н. Садовский¹, Д.С. Сазонов¹, В.В. Стерлядкин^{1,3}, А.П. Чернушич², И.В. Черный⁴, А.М. Стрельцов⁴, Е.А. Шарков¹, Н.С. Екимов⁵

¹ИКИ РАН

²ФирЭ им. В.А.

Котельникова РАН

³МИРЭА

⁴АО «Российские
космические системы»

⁵НИЦ «Планета»

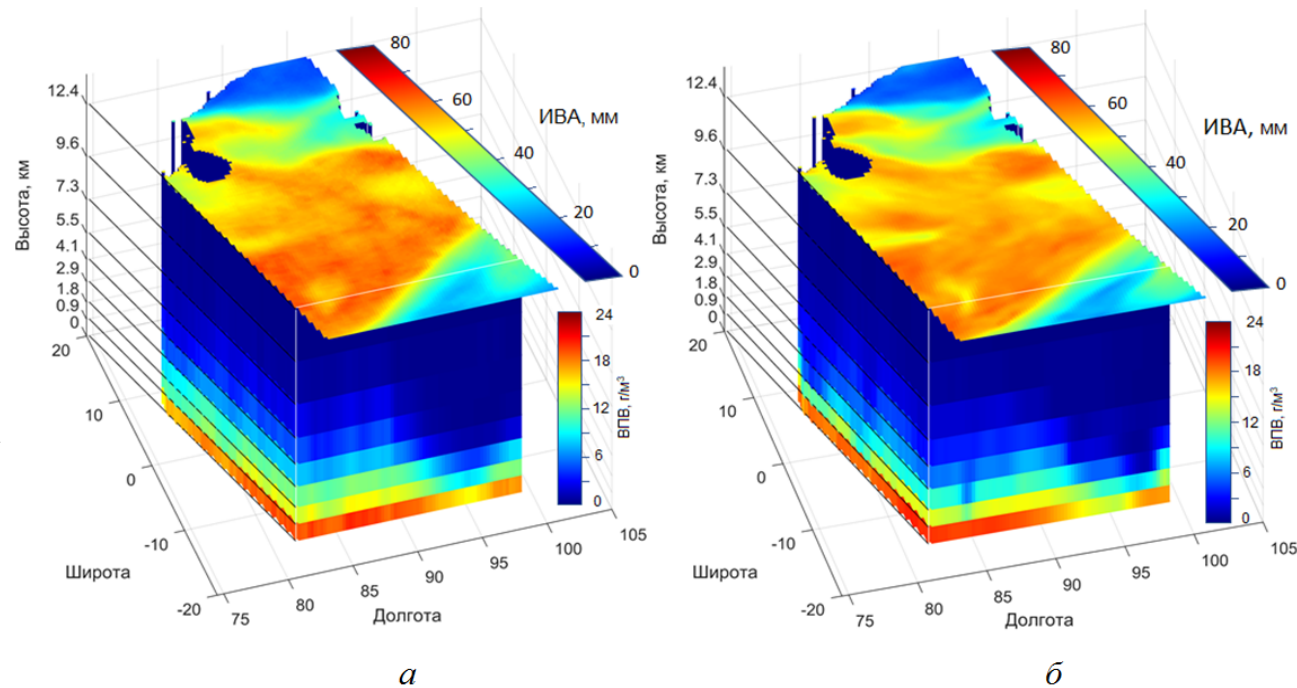


Рис. 1. Сопоставление фрагментов полей ИВА и ВПВ по МТВЗА-ГЯ (а) и ECMWF ERA5 (б): верхняя поверхность — поле ИВА, шкала значений (в мм) — справа сверху; боковые поверхности — поля ВПВ на соответствующих сечениях, шкала значений (в г/м³) — справа, границы слоёв — на шкале высот слева; на нижних шкалах — географические координаты

Расчет горизонтального потока

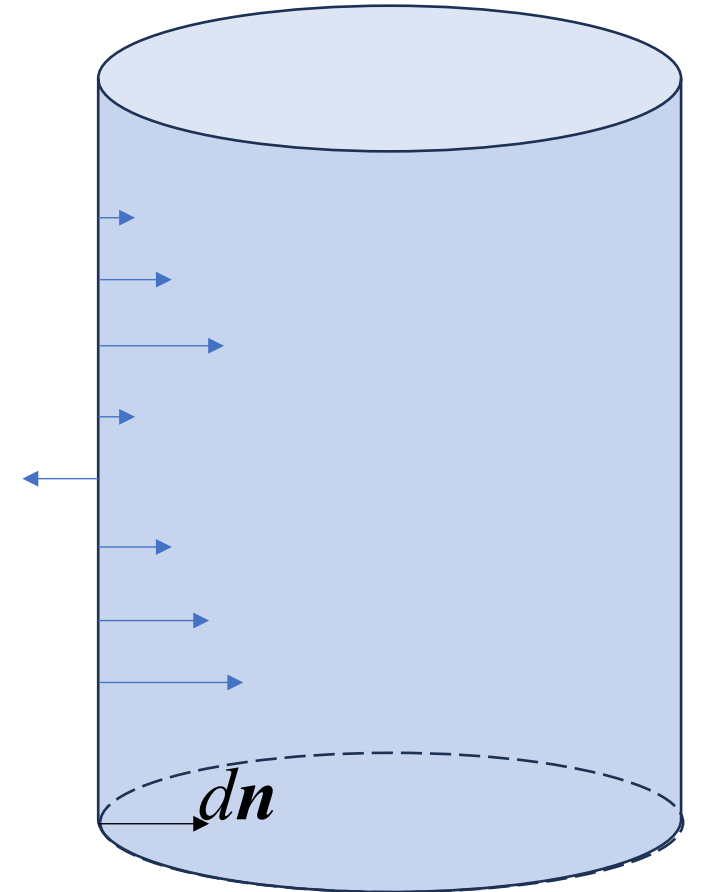
$$\iint_{S/A} F dS = \oint_l d\mathbf{n} \int_0^{+\infty} c(x, y, z) \mathbf{v}(x, y, z) dz$$

$$\mathbf{F}(x, y) = \int_0^{+\infty} c(x, y, z) \mathbf{v}(x, y, z) dz =$$

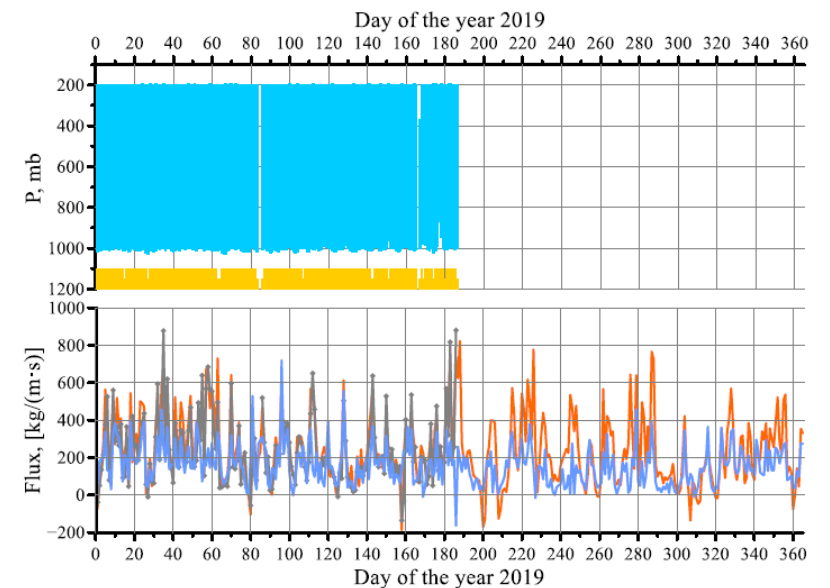
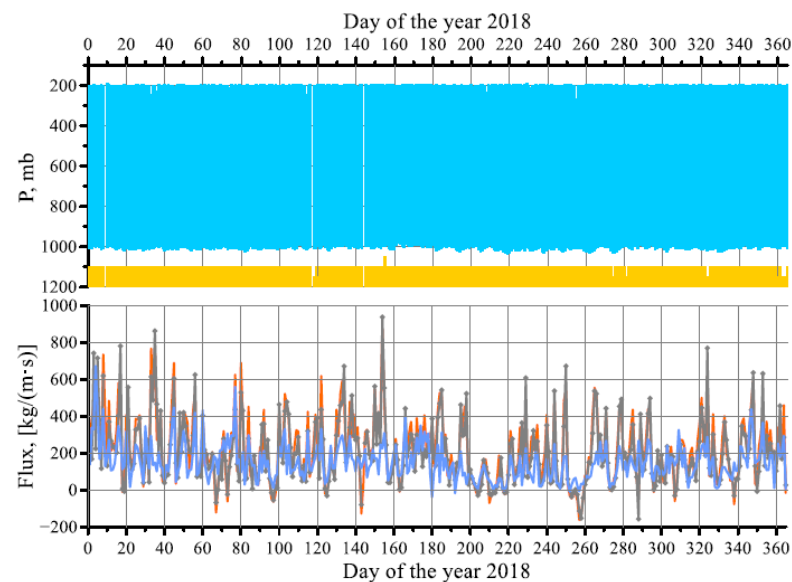
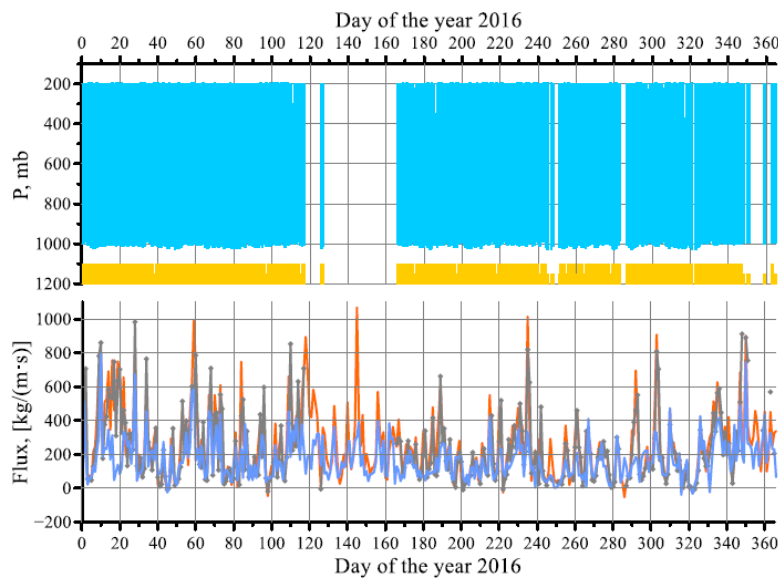
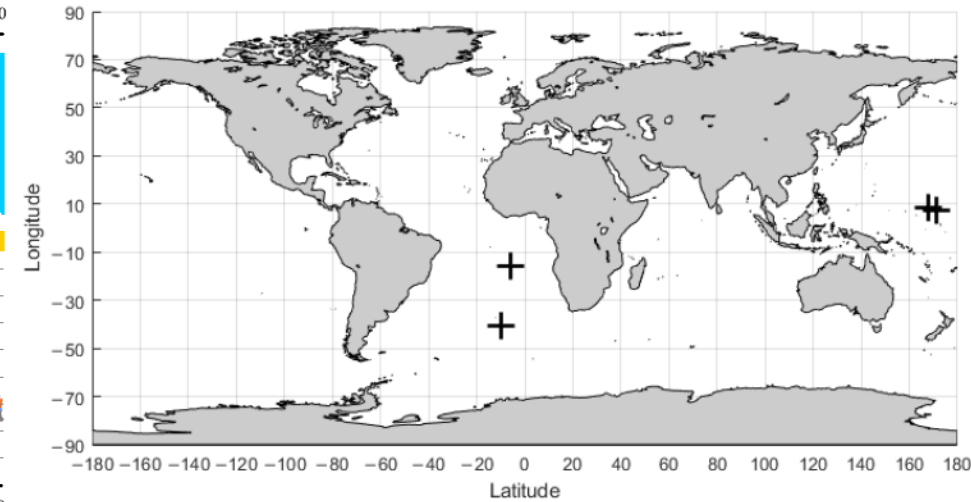
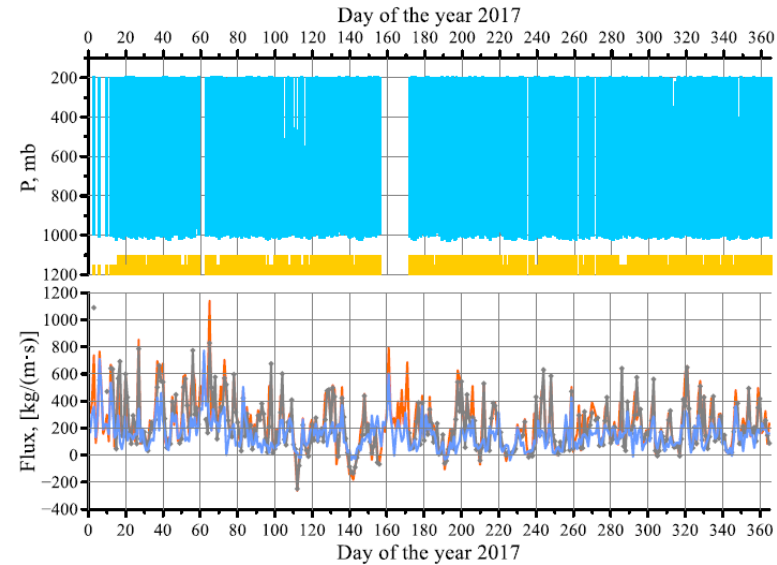
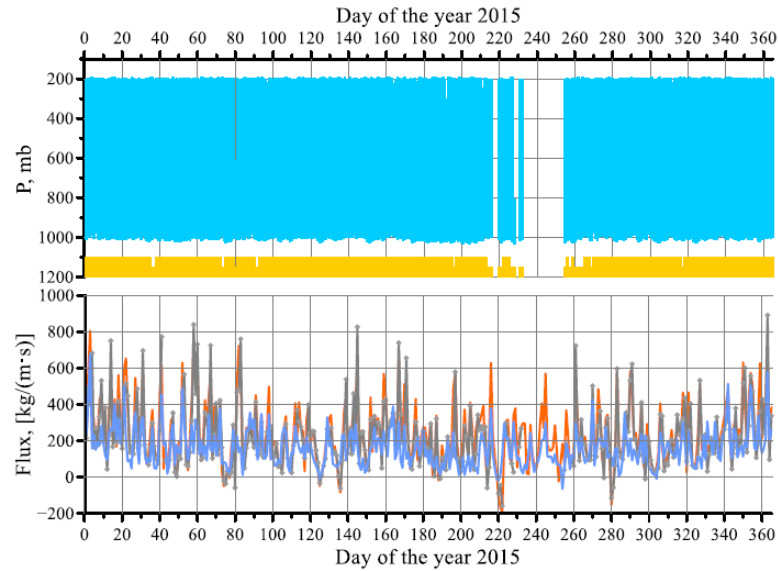
$$= \mathbf{v}^*(x, y) \int_0^{+\infty} c(x, y, z) dz$$

«Эффективная» скорость
горизонтального переноса

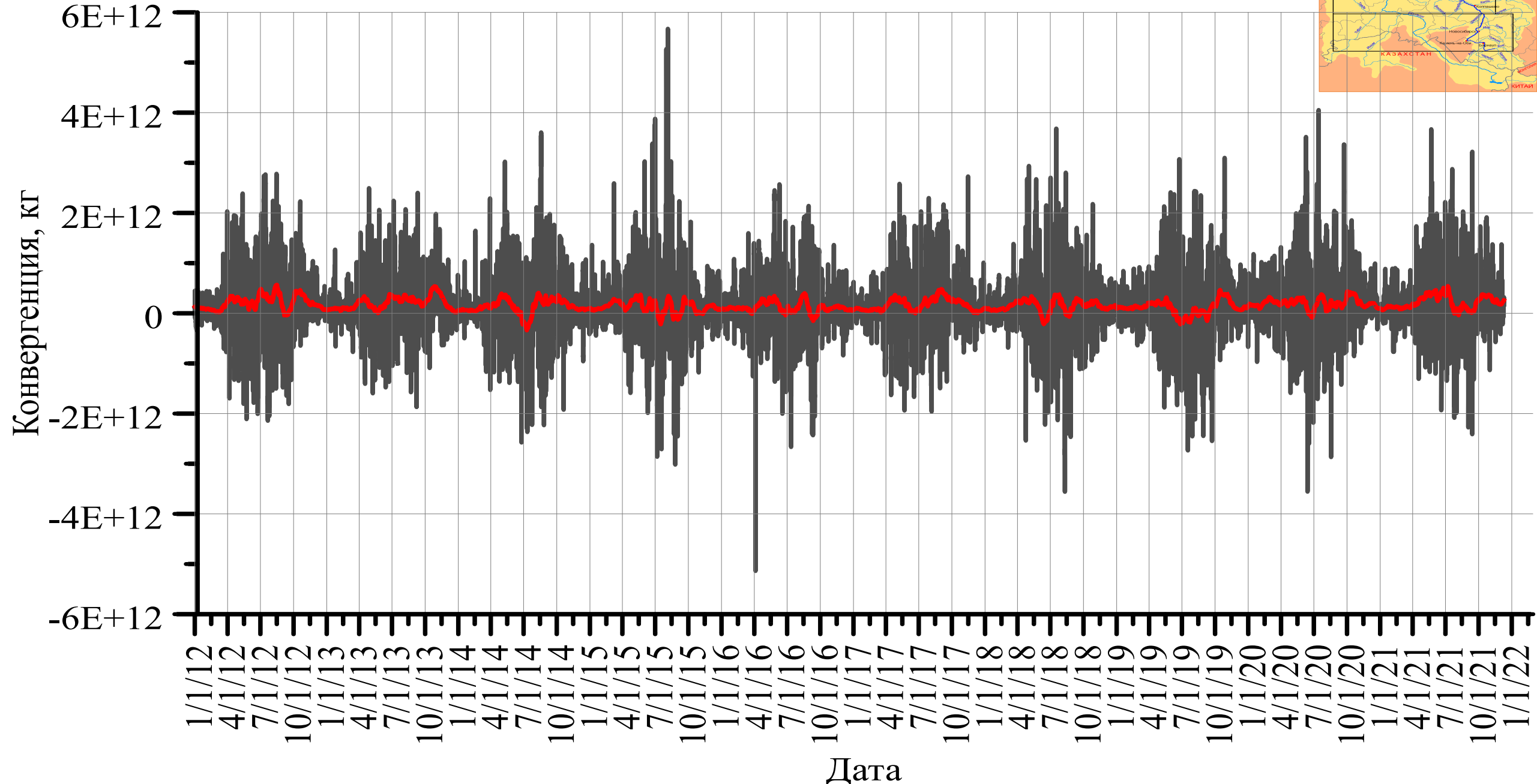
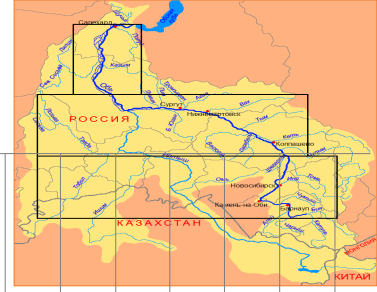
Интегральное содержание



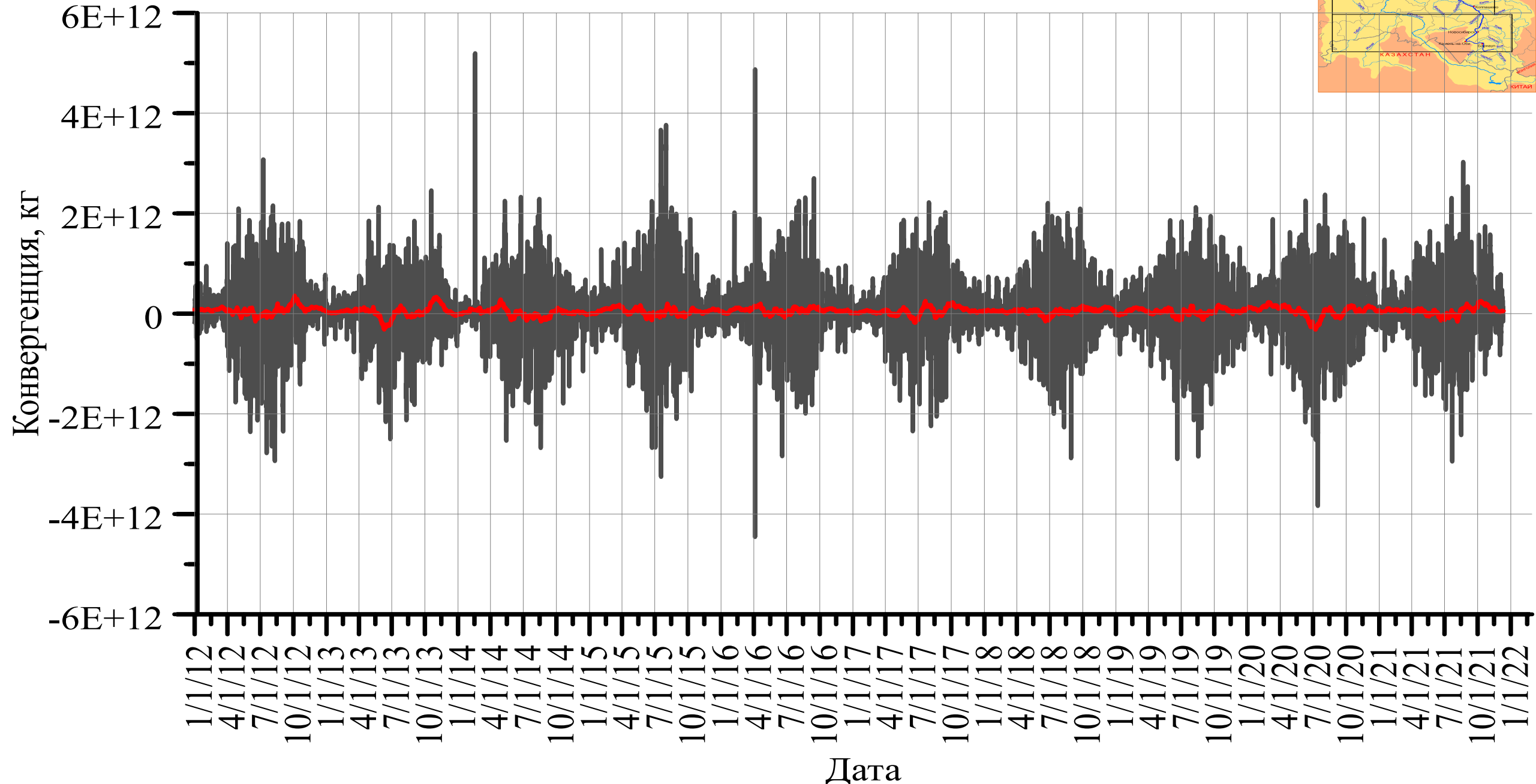
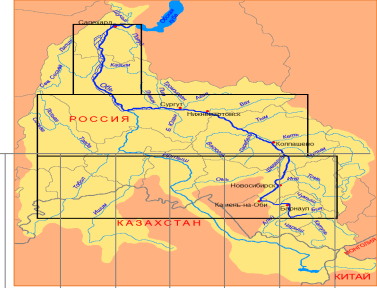
Сравнение потоков по радиотепловидению, реанализу и метеоданным



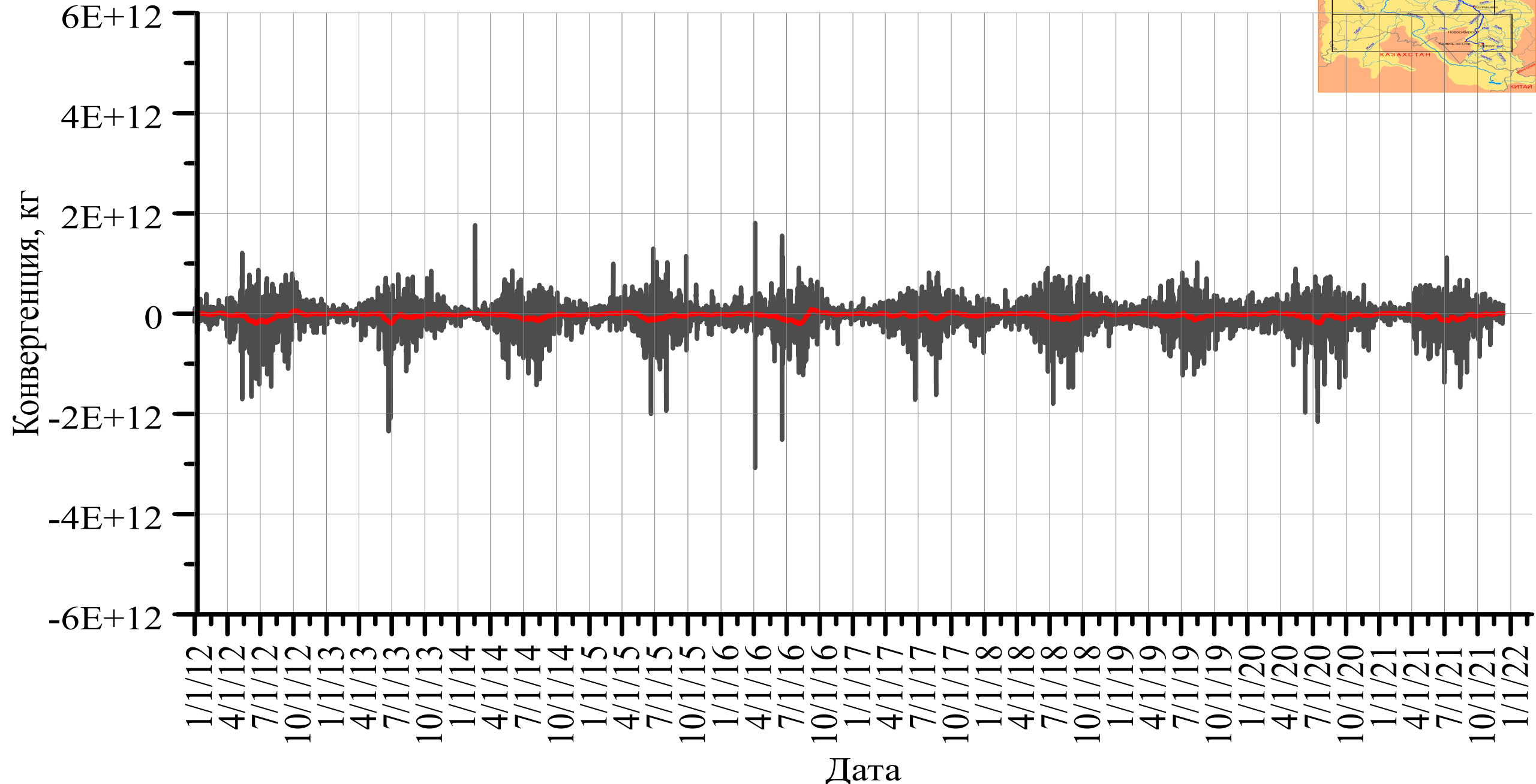
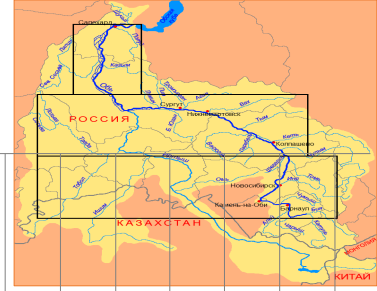
Расчет конвергенции потоков водяного пара: верхнее течение Оби



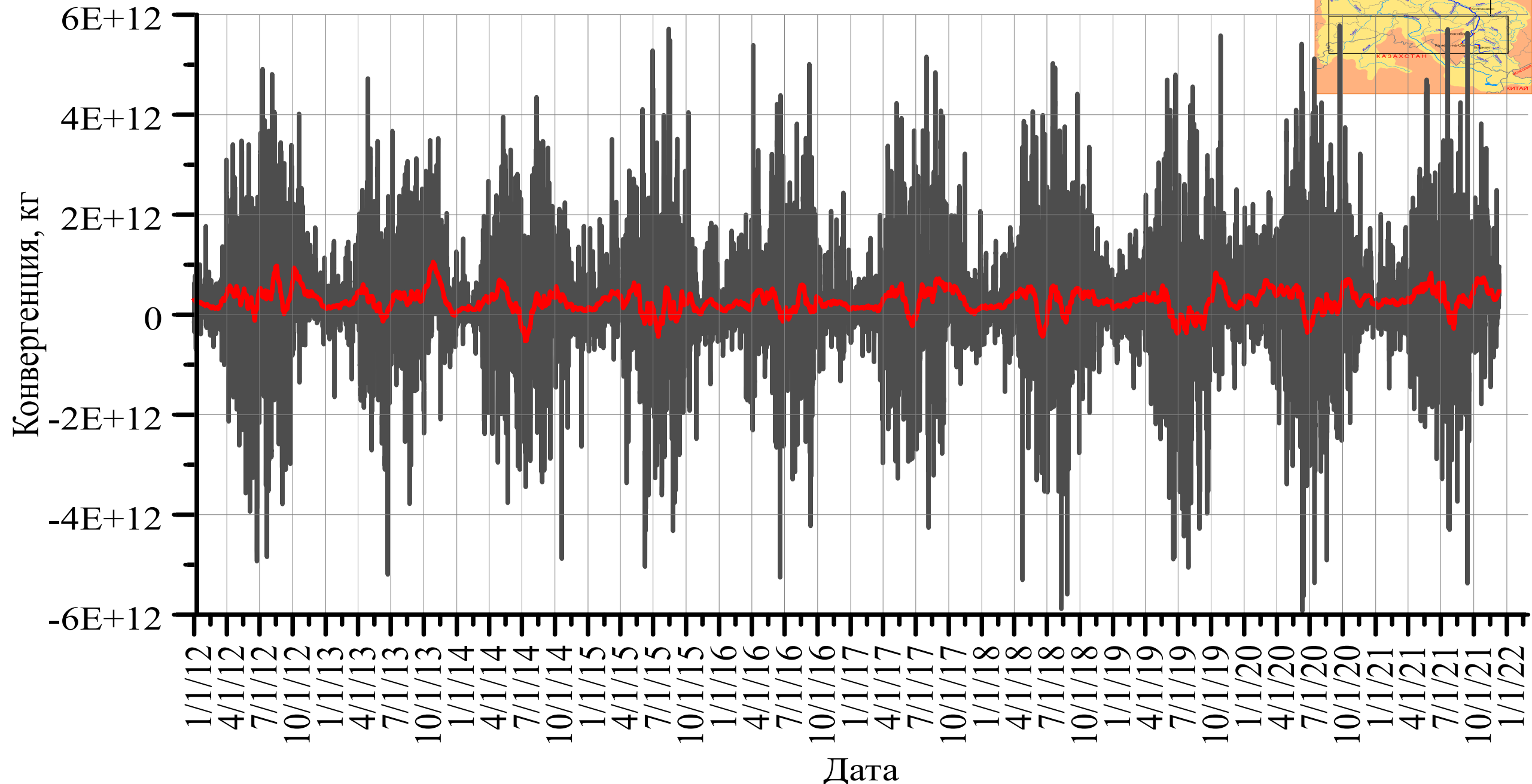
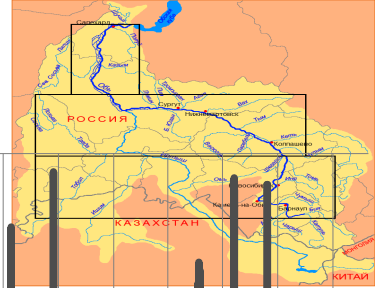
Расчет конвергенции потоков водяного пара: среднее течение Оби



Расчет конвергенции потоков водяного пара: нижнее течение Оби



Расчет конвергенции потоков водяного пара: «весь водосбор» Оби



Переход к дифференциальной форме записи

Сделав перестановку слагаемых в (4), получим:

$$\int_{t_{\min}}^{t_{\max}} (P - E) dt = - \iint_A Q(x, y) dx dy \Big|_{t_{\min}}^{t_{\max}} + \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} dt \oint_l \vec{F}_a(x, y) d\vec{n}. \quad (5)$$

Легко убедиться, что полученное уравнение эквивалентно стандартному уравнению баланса влаги в дифференциальной форме. Для этого уравнение (5) необходимо продифференцировать по пространственным и временным координатам, т.е. перейти к бесконечно малому интервалу времени $t_{\max} - t_{\min} = dt$ и бесконечно малой площадке $dA = dx dy$ и разделить обе части (5) на dt и dA . Получим:

$$\frac{(P - E) dt}{dt \cdot dA} = - \frac{Q(x, y) \Big|_{t_{\max}} - Q(x, y) \Big|_{t_{\min}}}{dt} + \frac{\oint_l \vec{F}_a(x, y) d\vec{n}}{dA}. \quad (6)$$

По теореме Остроградского-Гаусса $\oint_l \vec{F}_a(x, y) d\vec{n} = -\text{div} \vec{F}_a(x, y) d\vec{n}$ Знак «минус» обусловлен выбором положительного направления нормали (внутри контура), интеграл заменен произведением в силу бесконечной малости области интегрирования dA . Окончательно с перестановкой слагаемых получим:

$$\frac{\partial Q(x, y)}{\partial t} + \text{div} \vec{F}_a(x, y) = e(x, y) - p(x, y), \quad (7)$$

где $e - p$ имеет смысл эффективного испарения, отнесенного к единице площади; все члены уравнения (7) имеют размерность $\text{кг}/\text{м}^2\text{с}$. В представленном виде (7) полностью эквивалентно стандартному уравнению водного баланса атмосферы (см., например, уравнение (1) в работе [1]).

Выводы

1. Спутниковое радиотепловидение является перспективным подходом к анализу регионального гидрологического баланса на основе замкнутой схемы анализа данных фактических спутниковых наблюдений.
2. Продемонстрированы возможности развиваемого подхода на примерах исследования областей, относящихся к водосборам крупных рек (Оби, Амура). В настоящее время ведется обработка данных по другим областям интереса.
3. Ключевыми проблемными аспектами подхода, на которых сосредоточены продолжающиеся исследования, остаются:
 - 1) худшая точность расчета потоков водяного пара над сушей, чем над океаном (прогресс в этом аспекте связан с совершенствованием алгоритмов анализа оптического потока);
 - 2) чувствительность к выбору контуров, ограничивающих область анализа (необходимы комплексный анализ рельефа местности, учет статистики выпадения осадков, более представительные наборы данных контактных измерений для калибровки метода).

Спасибо за внимание!