

# СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТУРБУЛЕНТНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА И ВЛАГИ НАД ЧЕРНЫМ МОРЕМ ПО ДАННЫМ OAFUX

доц. к.ф.-м.н. А.К Ахсалба<sup>1</sup>, доц. к.ф.-м.н. Я.В. Гицба<sup>1</sup>, д.ф.-м.н. А.Г. Гранков<sup>2</sup>,  
с.н.с. А.А. Мильшин<sup>2</sup>, вед. спец. Н.К. Шелобанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Абхазский государственный университет, Институт экологии Академии наук Абхазии

<sup>2</sup>Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

Представлены среднемесячные значения турбулентных потоков скрытого и явного тепла на границе раздела атмосфера - водная поверхность Черного моря. Источником служат архивные данные из OAFUX. Выполнен анализ сезонной динамики потоков на границе раздела атмосфера – морская поверхность Черного моря за период с 1989 по 2018 годы.

## Введение

Оценка потоков тепла и влаги над водной поверхностью выполняется с использованием так называемых балк-формул [1]. Одной из разрабатываемых методик является методика, в которой входными данными служат дистанционно определяемые температура поверхности моря, скорость приводного ветра и приповерхностная влажность воздуха [1]. Анализ показал, что глобальные данные, получаемые на сайте <http://www.remss.com/> не корректны применительно к морям, имеющим существенно более низкую соленость по сравнению с океанической водой. Поэтому мы обратились к данным проекта OAFux - the Objectively Analyzed Air-sea Fluxes (OAFux) Project. Данные в данном проекте получены с привлечением трех подходов. Первый заключается в использовании судовых измерений, второй в привлечении спутниковых измерений и третий в использовании данных реанализа NWR – Numerical weather prediction. Пространственное разрешение данных проекта OAFux составляет один градус по широте и долготе. В работе [4] была получена оценка сезонной динамики турбулентных вертикальных потоков тепла и влаги над Черным морем по данным OAFux за рекордно жаркий 2010 год. В настоящей работе представлены результаты обработки данных за 30-летний период, с 1989 по 2018 годы.

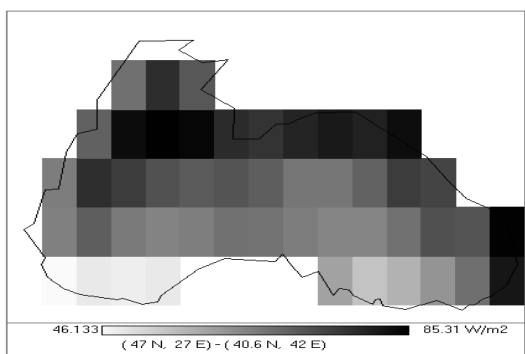
## Многолетняя сезонная динамика потоков явного и скрытого тепла в Черном море

На рис.1 показаны пространственные распределения потоков скрытого тепла (а) и явного тепла (б) по месяцам осредненные за период с 1989 по 2018 годы. На рис. 2 дана графическая зависимость интегрального (усредненного по всей поверхности Черного моря) потока скрытого тепла (а) и потока явного тепла (б), а так же минимальные и максимальные значения потоков за указанный период. На рис.3 приводятся годовые значения потоков за 30 летний период.

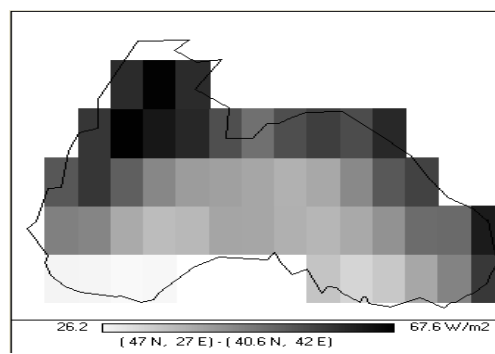
Выполним анализ особенностей распределения потоков скрытого тепла. В соответствие с рис.2, минимальное значение потока скрытого тепла наблюдается в апреле, а максимальное - в сентябре. Интервал разброса климатических значений существенно уже интервала текущих значений. Среднее значение месячного интервала совпадает с интегральным месячным значением на рис.2, а). Верхнее значение месячного интервала в 1.5 - 2 раза превышает его нижнее значение. В пространственном распределении потоков скрытого тепла наблюдается две стабильные области минимальных и максимальных значений в течении года. Область минимальных значений характерна для южной части западной трети моря, а область максимальных значений проявляется в восточной части моря, со стороны Абхазии и Грузии.

Потоки скрытого тепла в январе лежат в пределах 46-85 Вт·м<sup>-2</sup>. В феврале интегральное значение потока скрытого тепла в пределах 34-72 Вт·м<sup>-2</sup> и снижается на четверть по сравнению с январем (рис.2, б)). В пространственном распределении наблюдается меридианная зависимость с севера (max) на юг (min). В марте интегральное значение потока (12-49 Вт·м<sup>-2</sup>) снижается вдвое по сравнению с февралем месяцем. В апреле отмечается минимальное интегральное значение потока скрытого тепла за год (12-30 Вт·м<sup>-2</sup>). При этом в пространственном распределении появляется восточное направление с максимальными потоками и выраженное северо-западное направление с минимальными потоками. В мае наблюдается незначительный рост интегрального потока неявного тепла (19-36 Вт/м<sup>2</sup>). В июне турбулентность увеличивается незначительно (40-68 Вт/м<sup>2</sup>), оставаясь достаточно однородной по всей акватории моря. С июня по сентябрь величина потока увеличивается линейно ежемесячно на 25 Вт/м<sup>2</sup>, достигая максимального значения интегрального значения в 123 Вт/м<sup>2</sup> (рис.2, б)). Пространственное распределение носит условно равномерное

распределение в центральной части моря в августе, с небольшим максимумом в восточной части. Пространственное распределение потока неявного тепла в сентябре (100-150 Вт/м<sup>2</sup>) имеет максимум в западной половине моря. В октябре распределение меняет свой характер на зоны с максимумом в северной левой части моря и в северо-восточной части моря (86-134 Вт/м<sup>2</sup>). Затем величина интегрального потока падает в ноябре до значения (69-116 Вт/м<sup>2</sup>). При этом пространственная однородность остается высокой с незначительным максимумом в восточной части моря. Декабрьское распределение остается высоким, до (63-101 Вт/м<sup>2</sup>). Пространственное изменение определяется наличием максимумов в северо-западной и северо-восточной частях с однородным центром моря. Основные области проявления активности потоков связаны с направлениями сильных ветров и изменениями влажности воздуха [3].

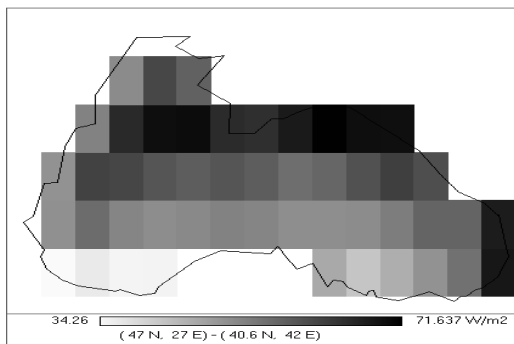


46-85 Вт/м<sup>2</sup>

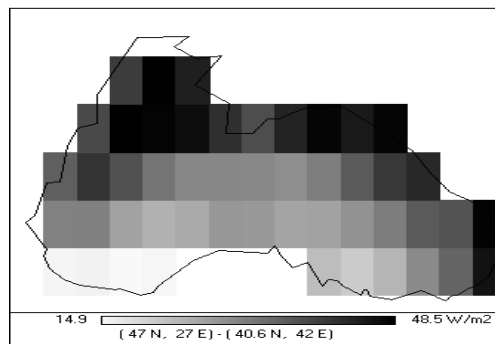


26-68 Вт/м<sup>2</sup>

Январь

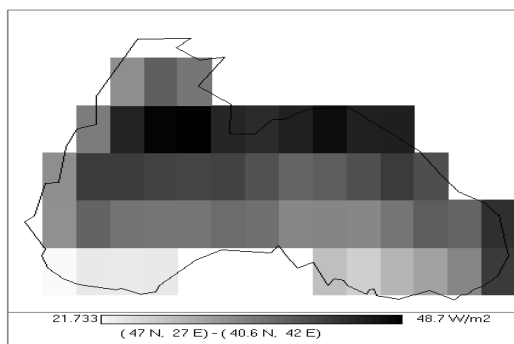


34-72 Вт/м<sup>2</sup>

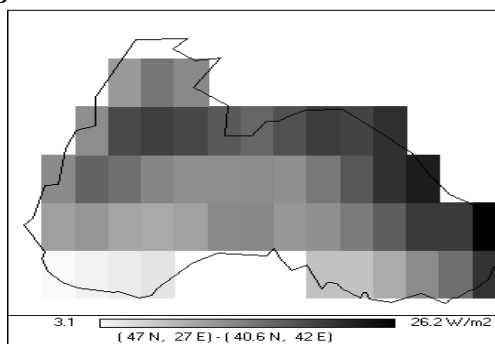


15-49 Вт/м<sup>2</sup>

Февраль

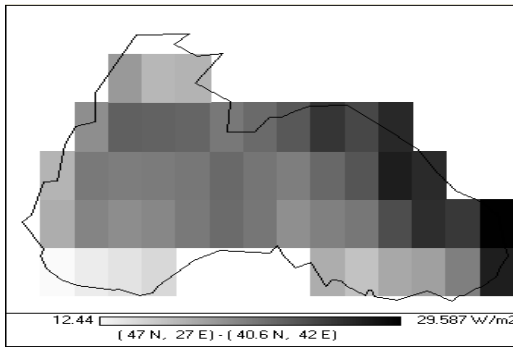


22-49 Вт/м<sup>2</sup>

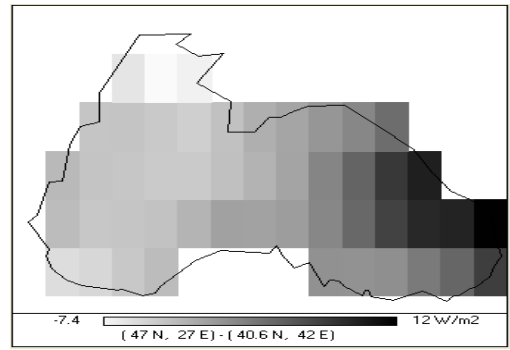


3-26 Вт/м<sup>2</sup>

Март

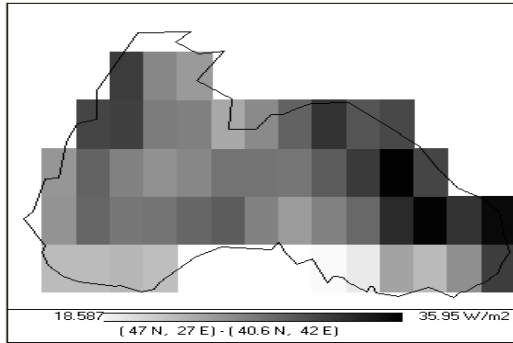


12-30 Вт/м<sup>2</sup>

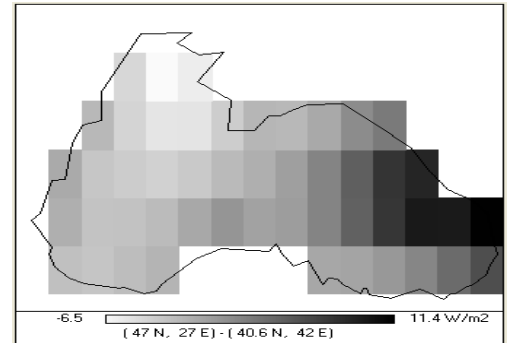


-7-12 Вт/м<sup>2</sup>

Апрель

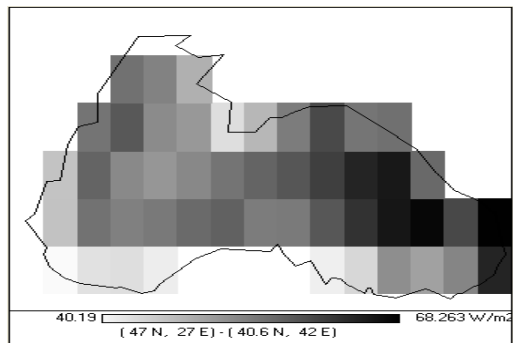


19-36 Вт/м<sup>2</sup>

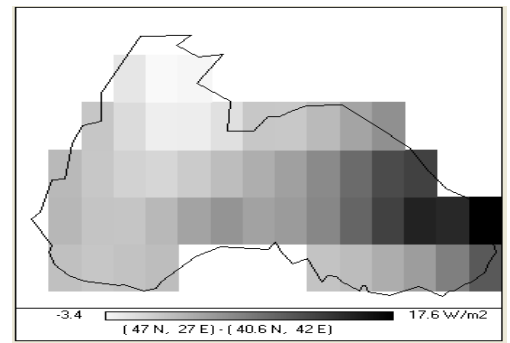


-7-11 Вт/м<sup>2</sup>

Май

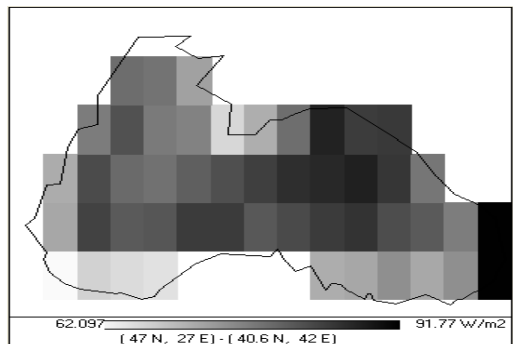


40-68 Вт/м<sup>2</sup>

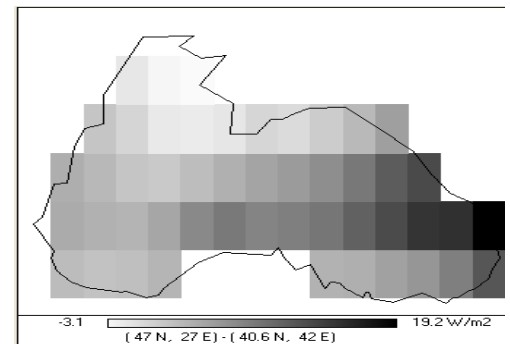


-3-18 Вт/м<sup>2</sup>

Июнь

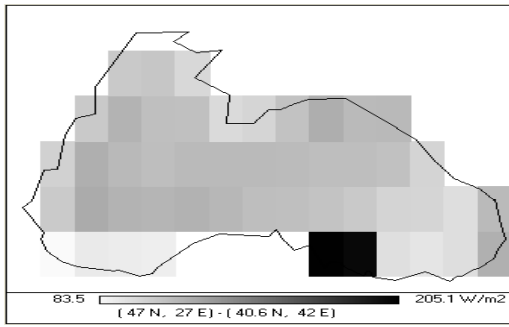


62-92 Вт/м<sup>2</sup>

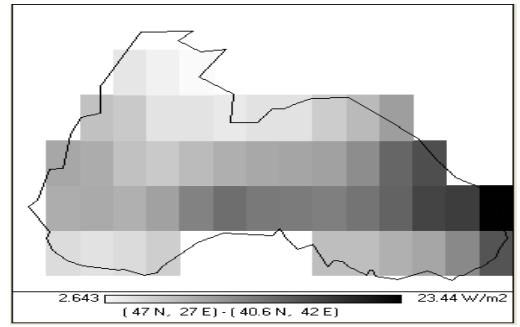


-7-19 Вт/м<sup>2</sup>

Июль

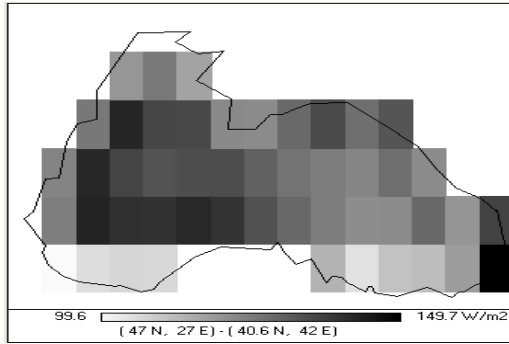


84-205 Вт/м<sup>2</sup>

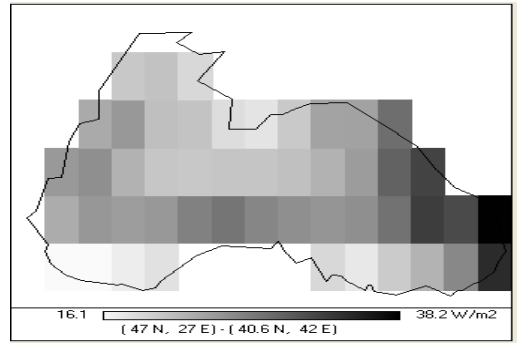


3-23 Вт/м<sup>2</sup>

Август

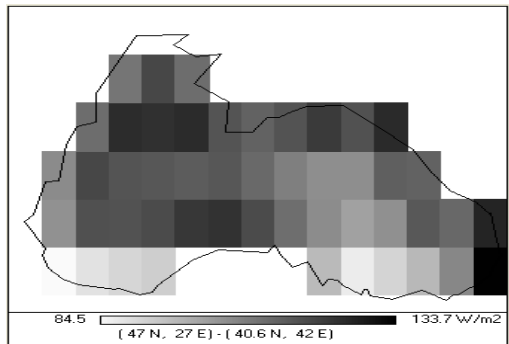


100-150 Вт/м<sup>2</sup>

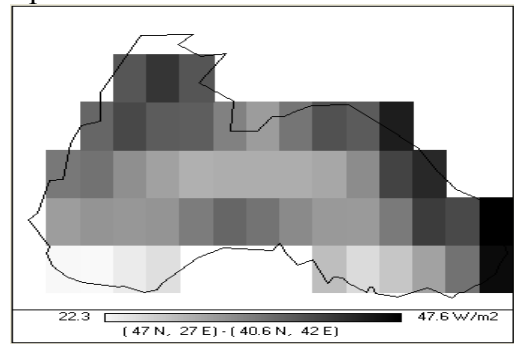


16-38 Вт/м<sup>2</sup>

Сентябрь

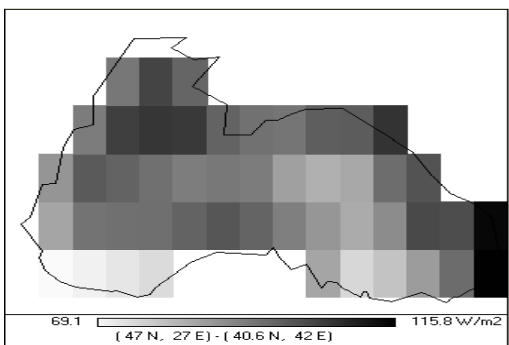


86-134 Вт/м<sup>2</sup>

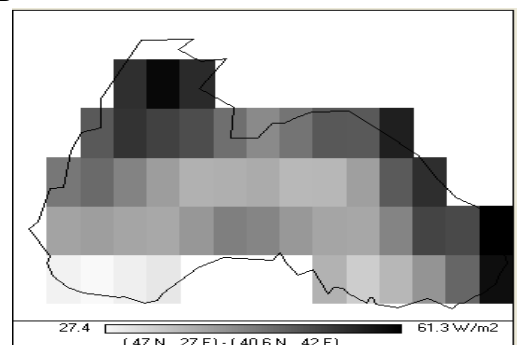


22-48 Вт/м<sup>2</sup>

Октябрь



69-116 Вт/м<sup>2</sup>



27-61 Вт/м<sup>2</sup>

Ноябрь

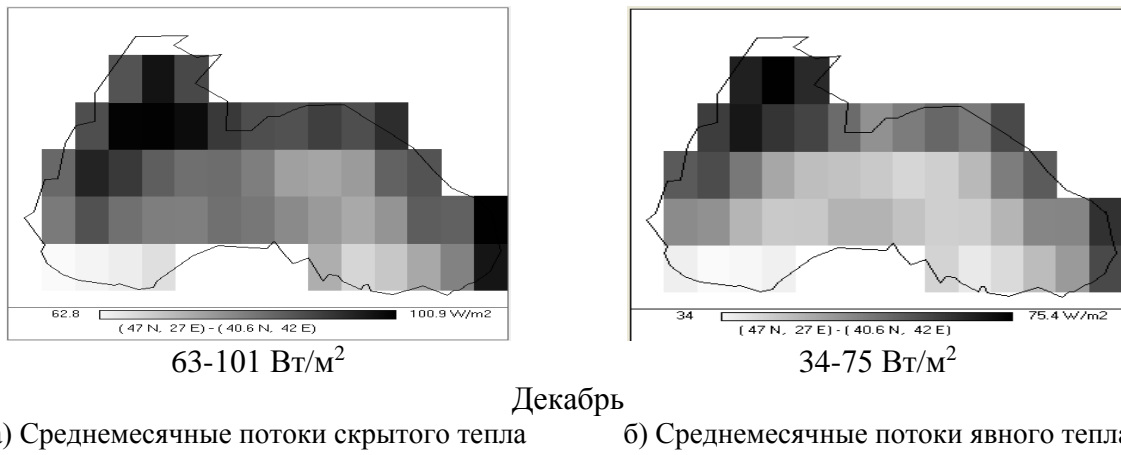


Рисунок 1. Многолетняя сезонная динамика потоков скрытого и явного тепла над Черным морем за период 1989-2018 годы

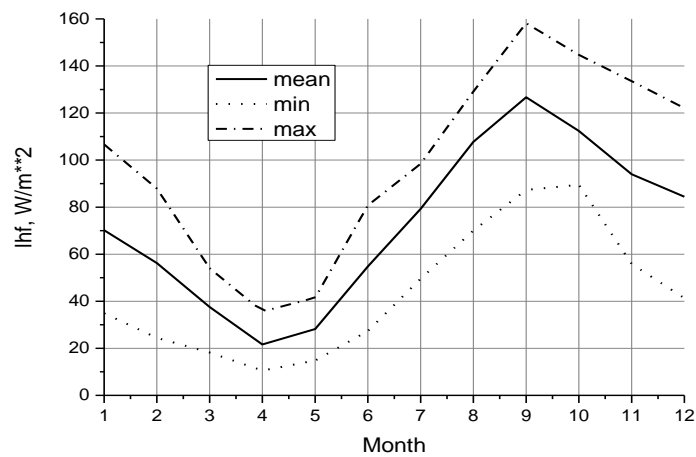
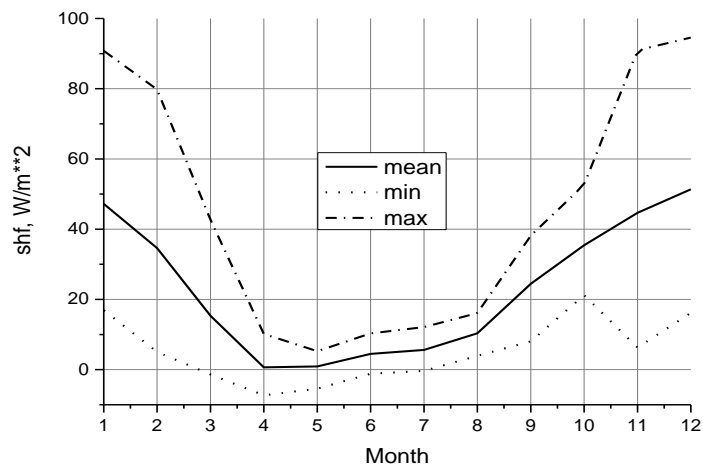


Рисунок 2. Внутригодовые многолетние изменения интегрального потока явного тепла (а) - shf) и скрытого тепла (б) - lhf) над поверхностью Черного моря за период 1989-2018 годы

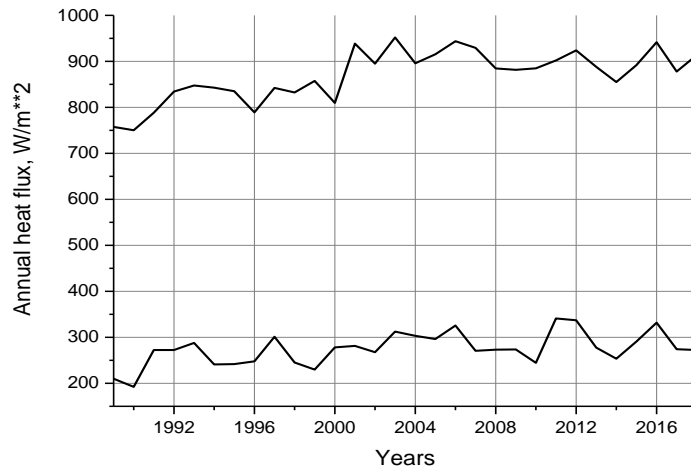


Рисунок 3. Вариации годовых потоков тепла: верхняя кривая – скрытое тепло, нижняя кривая – явное тепло

Сезонный ход потоков явного тепла (рис.1б и 2а) имеет три фазы. Первая, январь – март характеризуется меридианным ходом распределения потоков. Вторая, апрель – сентябрь характеризуется долготным распределением с запада (min) на восток (max). Минимальный ход потоков наблюдается в апреле-августе месяце. И третья фаза, как и первая, имеет меридианное распределение потоков явного тепла. Максимальные значения потоков отмечаются в северной части моря, а минимальные значения потоков отмечаются в южной части моря. Значения интегрального по всей площади среднемесячного потока так же имеет три фазы (рис.2 а). Это спадающий поток в период январь – апрель ( $47 - 1 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ ), минимальный поток, изменяющийся с 1 до  $11 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  в апреле – августе, и нарастающий поток в августе – декабре с 11 до  $53 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ . В декабре наблюдается самый мощный в течении года поток, минимальное значение наблюдается в апреле.

На рис.3 зависимость годовых потоков за период с 1989 по 2018 годы. Мы видим, что величина среднегодового потока явного тепла составляет около  $300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ , а величины потоков скрытого тепла приблизительно втрое превышает его и составляет около  $900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ . Имеется временной тренд, заключающийся в росте потоков в период с 1989 по 2000 годы, в дальнейшем величины потоков практически не меняются.

### Заключение

Выполнен анализ многолетней сезонной изменчивости потоков неявного и явного тепла на основе среднемесячных данных OAFflux за период с 1989 по 2018 годы.

Для интегральных потоков неявного тепла характерен сезонный ход, имеющий четыре фазы: спадающая зависимость в январе – апреле; период минимально низких значений в апреле – мае; нарастающая зависимость в мае – сентябре, с максимумом в сентябре и спадающая зависимость в сентябре – декабре.

Для интегральных потоков явного тепла характерен сезонный ход, имеющий три фазы: спадающая зависимость в январе – апреле, с минимальным значением в апреле; нарастающая зависимость в апреле – августе, с максимумом в августе и спадающая зависимость в августе – декабре.

Во временном ходе годовых потоков скрытого и явного тепла имеется тренд роста с период с 1989 по 2000 годы, с период с 2000 по 2018 годы средняя величина потоков остается неизменной и составляет около  $900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  и  $300 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ , соответственно, для скрытого и явного тепла.

Мы благодарим OAFflux за предоставленные данные.

### Литература

1. Александр Гранков, Александр Мильшин, Евгений Новичихин. Радиоизлучение системы океан-атмосфера в ее энергоактивных зонах. LAP LAMBERT Academic Publishing. -2016. -314 с.
2. Lisan Yu, Xiangze Jin, Robert A. Weller. Multidecade Global Flux Datasets from the Objectively Analyzed Air-sea Fluxes (OAFflux) Project: Latent and Sensible Heat Fluxes, Ocean Evaporation, and

Related Surface Meteorological Variables // Woods Hole Oceanographic Institution OAFlux Project Technical Report (OA-2008-01).

3. Справочник по климату Черного моря. Под ред. А.И. Сорокиной. Московское отделение гидрометеоздата. М.: 1974. 405 с.

4. А.К Ахсалба, Я.В. Гицба, А.Г. Гранков, А.А. Мильшин, Н.К. Шелобанова. Сезонная изменчивость турбулентных вертикальных потоков тепла и влаги над Черным морем // Всероссийские Армандовские чтения [Электронный ресурс]: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн / Материалы Всероссийской научной конференции – Муром: Изд. - полиграфический центр МИ ВлГУ, 2019. ISSN2304-0297 (CD-ROM). С.1-7

## **LONG-TERM SEASONAL VARIABILITY OF VERTICAL TURBULENT HEAT AND MOISTURE FLUXES OVER THE BLACK SEA ACCORDING OAFLUX**

Ph. D. Ahsalba A.K<sup>1</sup>., Ph. D. Gitsba Y.V<sup>1</sup>., Ph. D. Grankov A.G<sup>2</sup>., senior scientist Milshin A.A<sup>2</sup>.,  
leading specialist Shelobanova N.K<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Abkhazian state university, Ecological Institute Academy of the sciences Abkhazia

<sup>2</sup>Fryazino Branch of the Kotelnikov Institute of Radio engineering and Electronics, RAS

The average monthly values of turbulent latent and sensible heat fluxes at the interface atmosphere - water surface of the Black sea are presented. The source is the archive data from OAFLUX. The analysis of seasonal dynamics of fluxes at the interface atmosphere - sea surface of the Black sea for the period from 1989 to 2018 years was performed.

## **НОВЕЙШИЕ АЭРОЗОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ВОЗД**