

ИССЛЕДОВАНИЕ АПВЕЛЛИНГОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Кочков Николай Владимирович

*к.г.н., с.н.с. ФГБУН Институт озераедения Российской академии наук
г. Санкт-Петербург*

Апвеллинг представляет собой подъем глубинных вод на поверхность водоема. Он может наблюдаться как в прибрежной области, так и в открытых частях океанов, морей и озер. Выходящие на поверхность глубинные воды отличаются от поверхностных пониженной температурой, а также содержанием биогенных веществ и растворенных в них химических элементов. Районы с устойчивым апвеллингом биологически более продуктивны и богаты рыбой по сравнению с окружающими водами, что имеет большое практическое значение.

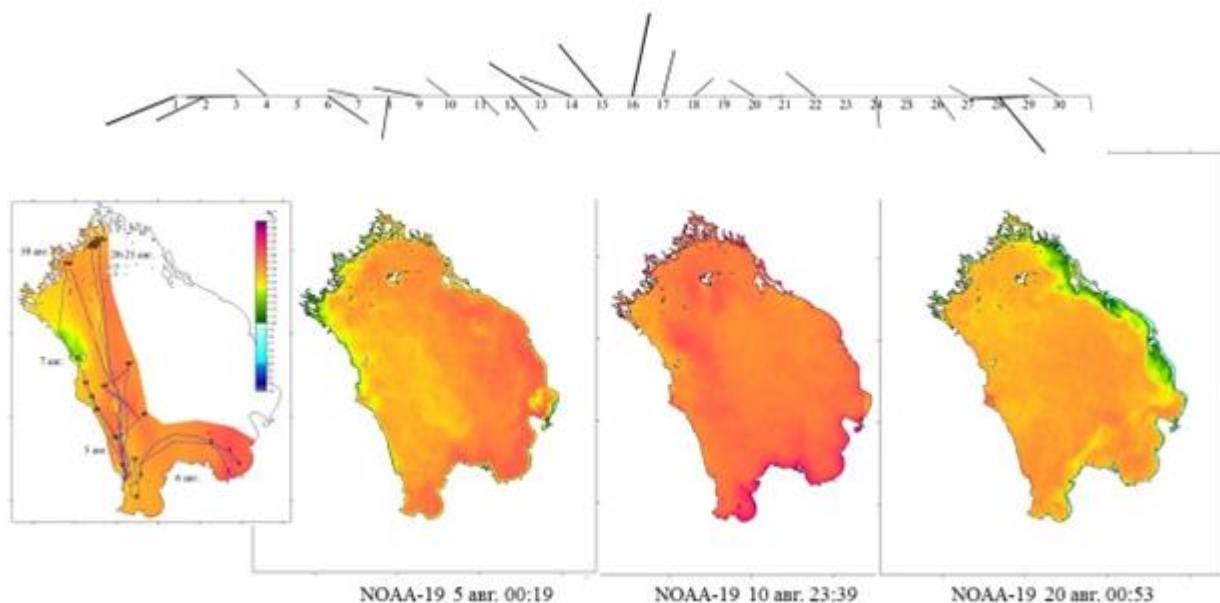
Различают как минимум четыре типа апвеллинга: прибрежный апвеллинг; крупномасштабный ветровой апвеллинг в открытой части водоема; апвеллинг, связанный с вихрями; апвеллинг, связанный с топографией. Апвеллинг может быть эпизодическим, сезонным, круглогодичным и климатическим.

Впервые объяснение механизма образования прибрежного апвеллинга было дано Свердрупом в 1942 г. [14]. В данной работе это явление рассматривается с позиций экмановской теории дрейфовых течений. Ветер, дующий вдоль берега, создает движение масс воды в поверхностном слое, вызывающее циркуляцию вод в вертикальной плоскости перпендикулярной берегу. Вода движется у дна к берегу и у берега поднимается к поверхности. Тем не менее, дальнейшие исследования показали, что часто апвеллинг развивается без участия ветра [1]. Это дало основание предполагать, что основное явление, генерирующее апвеллинг и даунвеллинг – не ветер, а вдольбереговые течения. А. Л. Бондаренко рассматривает возможность образования апвеллинга или даунвеллинга при различных возможных вариантах ориентации вдольбереговых течений относительно берега и распределения их по глубине. В этом случае в экмановском слое за счет действия силы Кориолиса, действующей на вдольбереговые течения, и градиента давления возникает избыточная сила, направленная в ту же сторону, что и сила Кориолиса. Эта избыточная сила создает циркуляционное движение воды в вертикальной плоскости – апвеллинг или даунвеллинг. Причем возможны 6 вариантов образования циркуляционных движений в зависимости от направления и скорости течения относительно береговой линии на разных глубинах. В работе [2] представлены доказательства, образования апвеллинга долгопериодными волнами (волны Россби, континентальные шельфовые волны).

Основные особенности формирования апвеллингов и даунвеллингов в озерах изложены в работах российских и зарубежных ученых: Онежское озеро [3-5], Ладожское [10]; Байкал [11]; Каспийское море [1, 8, 9]; Великие американские озера [12], Балтийское море [7] и др. В основном в вышеперечисленных работах рассматриваются механизмы образования прибрежного апвеллинга.

Экспериментальные исследования апвеллинга – даунвеллинга предполагают использование комплексного подхода, заключающегося в комбинации контактных и дистанционных методов анализа случаев проявления данного явления. Контактные методы подразумевают непрерывные наблюдения за полем течения и температуры в областях с максимальной вероятностью появления данного явления. Дистанционные методы – пространственное распределение характеристик. Наиболее ярко выраженной характеристикой, определяющей апвеллинг, является температура воды, что, с одной стороны, позволяет определить области подъема воды на основании дистанционных наблюдений, но, в тоже время, препятствует фиксации апвеллинга ранней весной и поздней осенью, когда температура поверхностного и глубинного слоя практически одинакова. При использовании спутниковой информации необходимо учитывать ряд важных особенностей, связанных с фоновыми метеорологическими условиями и параметрами ИК-съемки [7]. Так, например, наличие облачности может создавать ложные области пониженной температуры воды поверхностного слоя водоема. Сложность обработки спутниковых данных также препятствует подробному и точному описанию проявления данного явления. В связи с вышесказанным случаи проявления и изучения апвеллинга в Ладожском озере крайне редки. Н.Н. Филатов [10] на основе контактных и дистанционных съемок выделил 4 района в Ладожском озере, в которых наиболее часто наблюдается прибрежный апвеллинг: 1-3 раза в течение летнего периода. Эти зоны расположены вдоль восточного и западного берега озера. Ширина зон достигает 20 км, длина – 50 км. Характерные вертикальные скорости подъема воды в апвеллинге составляют $(0.5-1) \cdot 10^{-2} \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ [6].

Приведем несколько примеров проявления апвеллинга в Ладожском озере на основании данных, полученных сотрудниками ИНОЗ РАН в разные годы. На рис. 1 представлено распределение поверхностной температуры воды в августе 2015 г.

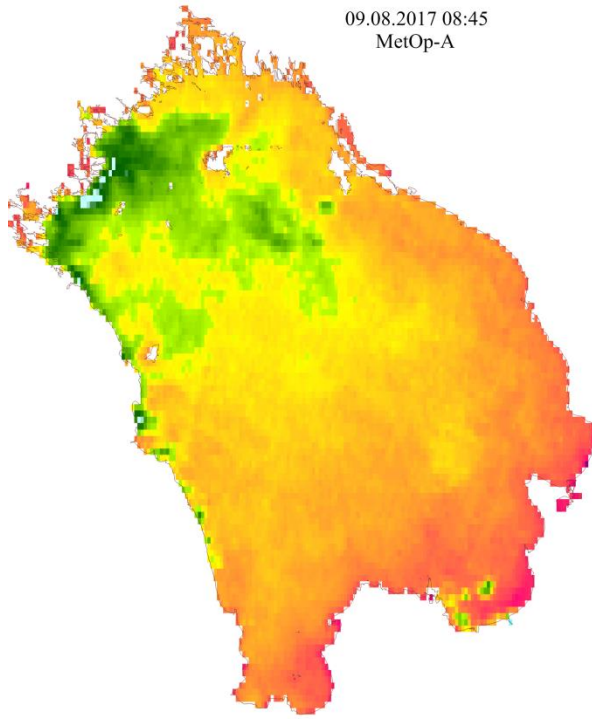


а) б) в) г)
 Рисунок 1 – Распределение поверхностной температуры воды на Ладожском озере (август 2015 г.).
 Среднесуточный ветер по м/с Сортавала.

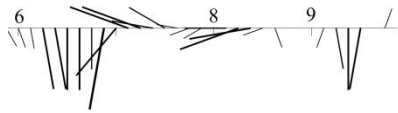
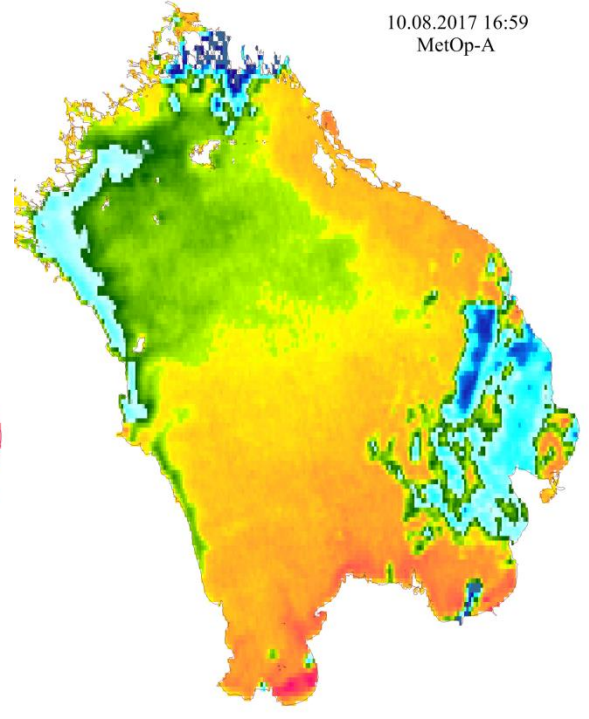
На рис. 1а показаны натурные наблюдения над температурой поверхности воды, полученные сотрудниками института. Прослеживается образование апвеллинга на западном берегу Ладожского озера (зеленый цвет). Образование его, вероятно, связано вдольбереговым течением. Рис. 1б демонстрирует другой механизм образования апвеллинга, а именно: ветер северо-западного направления создает сгон теплой воды и подъем более холодной массы с нижних горизонтов в северо-западной части озера. Через 5 суток (рис. 1в) поверхностная температура на всем озере становится практически однородной. На рис. 1г также под действием ветра образуется вдольбереговое течение, за счет чего происходит сгон прибрежной теплой воды и подъем более холодной на всем протяжении восточного берега.

Более интересными представляются спутниковые данные, полученные в августе 2017 г. На рис. 2 представлены пространственные распределения температуры поверхности воды в северной части Ладожского озера. В нижней части рисунка показаны векторы скорости ветра на данный период времени. В течение недели происходит образование, развитие и разрушение мощного апвеллинга. Если в начале (рис. 2а) площадь области апвеллинга составляет порядка 2000 км², то через сутки (рис. 2б) последняя достигает 4500 км². В течение суток площадь остается практически равной (рис. 2в). Затем следует уменьшение площади, примерно, до 2200 км² (рис. 2г, 2д). В течение следующих суток площадь уменьшается до 1900 км². Таким образом, приращение площади апвеллинга может доходить до 2500 км²/сутки. Учитывая направление и скорость ветра, не представляется возможным объяснить происхождение рассматриваемого апвеллинга только одним из вышеперечисленных механизмов. Вполне вероятно, что происходило синхронное взаимодействие нескольких механизмов, приведшее к образованию вертикальных циркуляций.

09.08.2017 08:45
MetOp-A



10.08.2017 16:59
MetOp-A

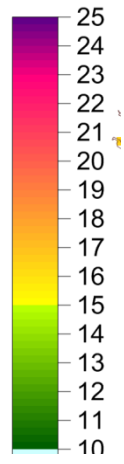


a)

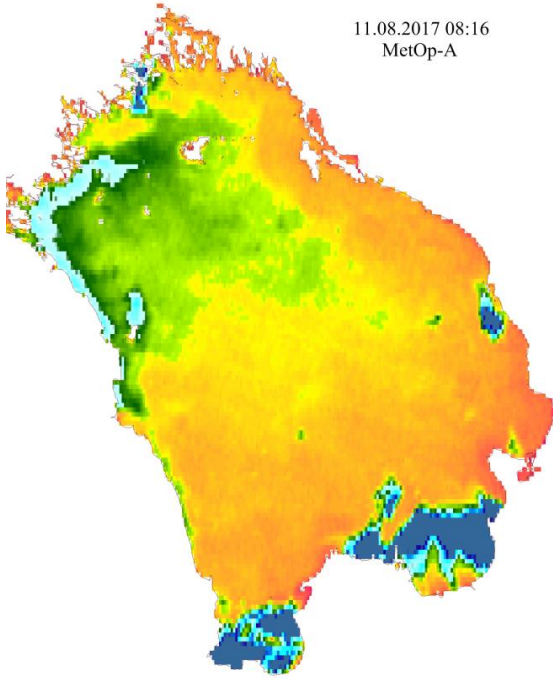


b)

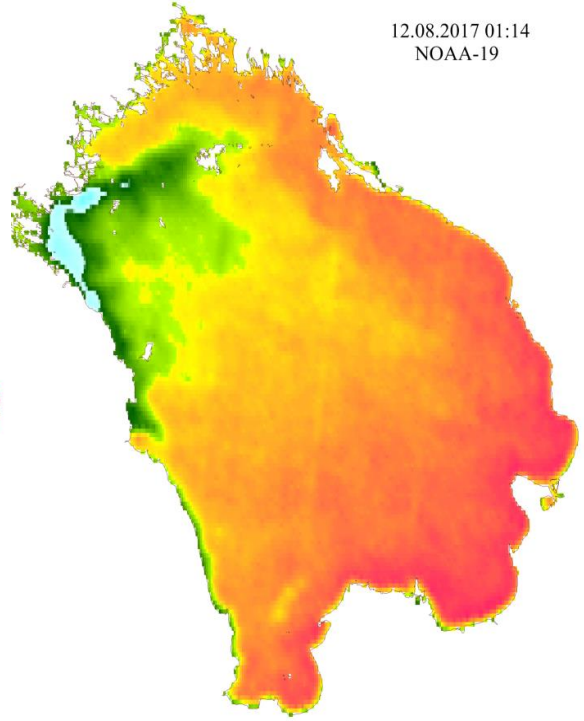
2)



11.08.2017 08:16
MetOp-A



12.08.2017 01:14
NOAA-19



6)



2)

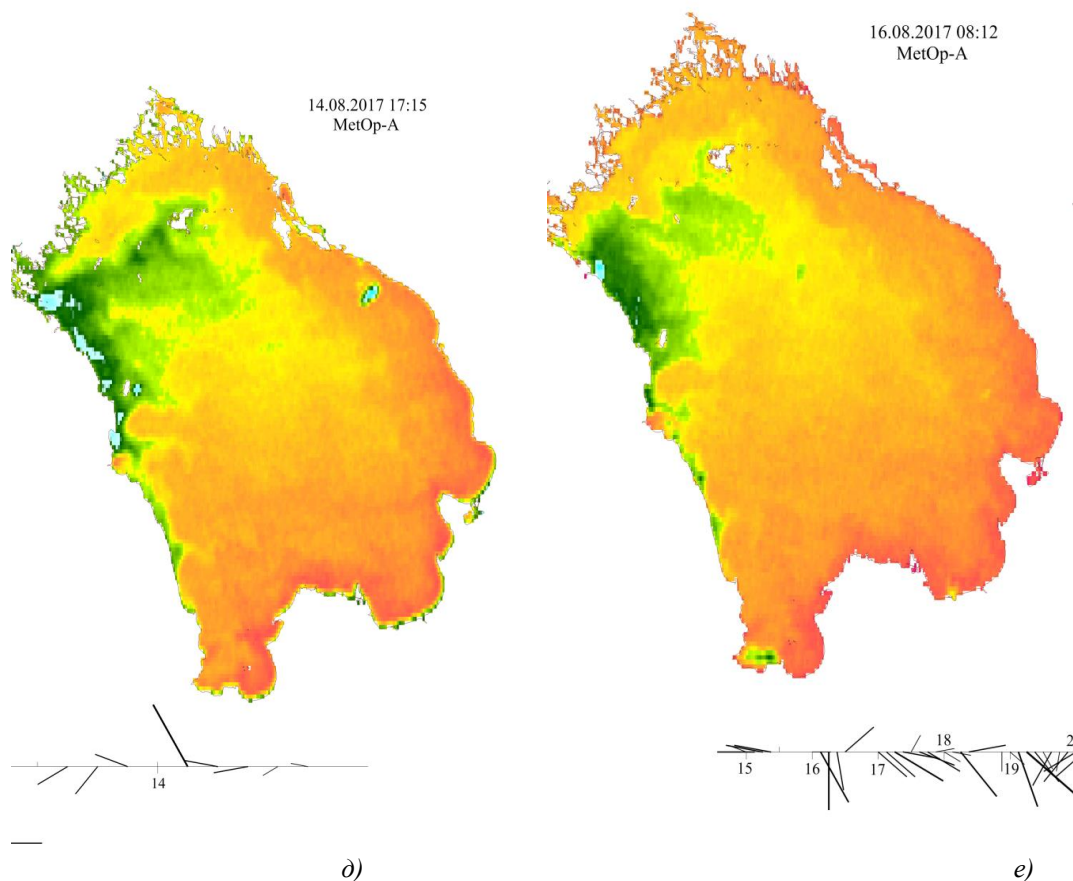


Рисунок 2 – Изменение распределения температуры поверхностного слоя воды на Ладожском озере.

Для изучения апвеллинга необходимо совместное использование дистанционных и контактных методов, т.е. на основании спутниковых данных провести в определенном районе измерения на разных горизонтах составляющих течения и температуры воды. Но если для сезонного апвеллинга применение такого подхода еще возможно, то для изучения эпизодически, случайно образующихся зон подъема воды оно маловероятно.

Список литературы

1. Бондаренко А.Л. Прибрежный апвеллинг Каспийского моря// Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 4. С. 510-512.
2. Бондаренко А.Л., Борисов Е.В., Серых И.В., Суркова Г.В., Филиппов Ю.Г. Закономерности формирования апвеллинга Мирового океана// Метеорология и гидрология. 2012. № 11. С. 75-82.
3. Бояринов П.М. Случай апвеллинга в южной части Онежского озера// Метеорология и гидрология. 1981, № 1. С. 72-75.
4. Бояринов П.М. Исследование апвеллингов и даунвеллингов Онежского озера. ГИДРОЛОГИЯ БАЙКАЛА И ДРУГИХ ВОДОЕМОВ Новосибирск: Наука, 1984. С. 53-59.
5. Бояринов П.М. Прибрежный апвеллинг и течения в замкнутом бассейне при различных синоптических условиях. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. Л., 1987. 20 с.
6. Бояринов П.М., Петров М.П. Процессы формирования термического режима глубоких пресноводных водоемов. Л.: Наука, 1991. 178 с.
7. Козлов И.Е., Дайлидене И. Изучение апвеллинга в Балтийском море на основе спутниковых оптических и РЛ-данных// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7, №3. С. 161-167.
8. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М.: Наука, 1975. 272 с.
9. Монахова Г.А., Курамагомедов Б.М., Расулова М.М., Бекшокова П.А. Геонформационные системы в изучении особенностей апвеллинга у западного побережья среднего Каспия// География и геоэкология. Юг России: экология, развитие. 2012. №3. С. 116-119.
10. Филатов Н.Н. Гидродинамика озер. С.Пб.: Наука, 1991. 200 с.

11. Шимараев М.Н., Троицкая Е.С., Блинов В.В., Иванов В.Г., Гнатовский Р.Ю. Об апвеллингах в озере Байкал// Доклады АН, 2012. Т.442, № 5. С. 696-700.
12. Csanady G. Hydrodynamics of large lakes// Annu. Rev. Fluid Mech., 1975. Vol. 7. P. 357-389.
13. Sverdrup H. U. Oceanography for meteorologists. – L., 1945.