

DOI 10.2478/v10116-011-0001-0

PRZYKŁADY UPWELLINGÓW W ZATOCE KOSZALIŃSKIEJ

ADAM CHOIŃSKI

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych,
Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań

Abstract: The examples of upwelling, a phenomenon that rarely occurs along the Polish part of the Baltic coast, are discussed in this study. The investigation was carried out in 2006 and 2008 near Mielno. It included temperature measurements along the cross-section perpendicular to the coast (4.5 km) at vertical sections (every 200 m) from surface to bottom, every 1 m. The obtained data allowed to determine the movement of water masses – the warm being pushed towards the open sea and the cold moving to the coast from deeper zones. The analysis of isotherm structure revealed the differences in water temperatures along the studied cross-section.

Key words: Koszalin Bay, upwelling

WSTĘP

Zjawisko upwellingu polega na podnoszeniu się wód oceanicznych lub morskich z większych głębokości, tj. zazwyczaj ze strefy poniżej termokliny ku powierzchni. W większości podręczników oceanograficznych opisywane jest ono w ujęciu kontynentów lub ich wybranych fragmentów. Należy zaznaczyć, że upwellingi występujące na przykład u zachodnich wybrzeży Ameryki różnią się zasadniczo od tych, które są odnotowywane w obrębie mniejszych akwenów morskich, na przykład w Bałtyku. Nie dotyczy to bynajmniej jedynie zasięgu wzdłuż brzeżnego, lecz także „trzeciego wymiaru”, a więc głębokości. W pierwszym przypadku są to głębokości rzędu setek metrów, w drugim natomiast od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Ponadto, upwellingi w Bałtyku mogą występować w roku jedynie w okresie około czterech miesięcy, a więc w czasie stratyfikacji termicznej. Jest to zjawisko stosunkowo rzadkie i krótkotrwałe. W ciągu jednego sezonu letniego w strefie przybrzeżnej w okolicy tzw. Zatoki Koszalińskiej upwelling rzadko występuje kilka razy, a są przypadki, iż podczas lata nie jest notowany ani razu. Trwałość tego zjawiska wynosi od kilku godzin do kilku dni. Oprócz zmian (obniżenia) temperatury wody przy brzegu występuje również zmiana produktywności biologicznej. Zjawisko to ma także

znaczny wpływ na turystów, bowiem przy bardzo szybkim ochłodzeniu wód do temperatury często poniżej 10°C nie ma możliwości kąpieli.

TEREN BADAŃ

Obserwacje przeprowadzono w okolicy Mielna koło Koszalina, a więc w przybliżeniu na 300. km wybrzeża. Dno w tej strefie łagodnie opada, izobaty ułożone są współkształtnie do zarysu linii brzegowej. Około 1 km od brzegu głębokości są rzędu 10 m, 4 km od brzegu zaś około 15 m. Dominującym osadem dennym są piaski, głównie drobnoziarniste. Sporadycznie notowane są mulki, żwiry i osady organiczne. Z rosnącymi głębokościami występuje wzrost udziału frakcji drobniejszych, co wskazuje na mniej burzliwe warunki depozycji. Z analizy zmienności składu mechanicznego wynika, że intensywne przemieszczanie osadów po dnie przy średnich parametrach falowania dochodzi do głębokości 9,5 m. Poniżej tej głębokości występuje jedynie sporadyczny ruch osadów (Choiński 1985). Linia brzegowa biegnie wzdłuż azymutu 70°. Ma to ogromne znaczenie dla oddziaływania wiatrów na przypowierzchniową warstwę wód. Tak więc wiatry z południowego wschodu będą najbardziej efektywnie oddziaływały na „spychanie” wód przybrzeżnych w kierunku otwartych wód. Sama strefa brzegowa stanowi pewnego rodzaju barierę dla oddziaływania wiatrów z sektora południowego na powierzchnię wodną. Występują bowiem wały wydmowe o wysokości kilku metrów, częściowo porośnięte lasem, stanowiącym ich zaplecze od strony południowej. Cień wiatrowy, który dają wymienione „bariery”, nie przekracza jednak szerokości kilkuset metrów.

METODY BADAŃ

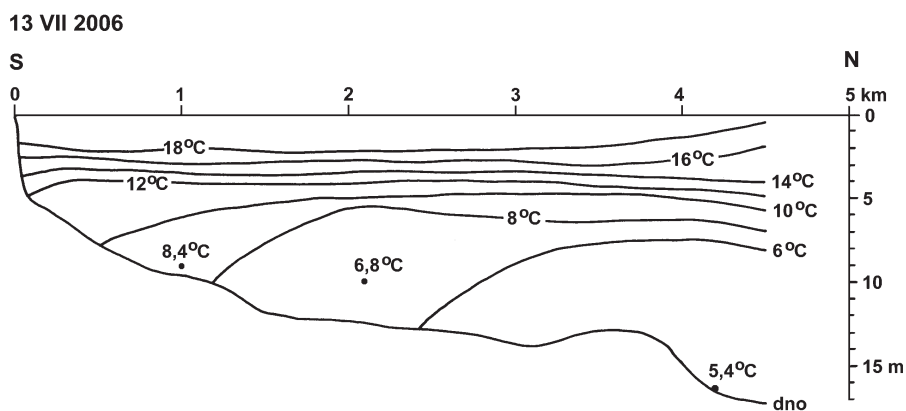
W celu ustalenia zasięgu upwellingu wykonano cztery przekroje termiczne (o tym samym przebiegu) prostopadłe do brzegu o długości 4,5 km. W tej odległości od lądu głębokość wynosiła 17 m. Głębokość określano sondą akustyczną, punkty lokalizowano za pomocą GPS-u, natomiast temperaturę wody podano z dokładnością do 0,1°C cyfrowego PT 215). Pomiary temperatury w pionach wykonywano od powierzchni do dna co 1 m, przy czym odległości między pionami pomiarowymi wynosiły 200 m. W celu określenia temperatury powierzchni wód w analizowanej strefie przybrzeżnej uzyskano stosowny materiał ze Swedish Meteorological and Hydrological Institute. Dwa przekroje termiczne wykonano w roku 2006, (13 VII i 29 VII), dwa kolejne w 2008, (31 VII i 7 VII). Wykonanie pomiarów w zbliżonych do siebie terminach, tj. kilka–kilkanaście dni, umożliwiło zobrazowanie zaistniałych zmian temperatury wód między powierzchnią i dnem. Możliwe to było poprzez nałożenie na siebie kolejnych

pionów pomiarowych i określenie różnic temperatur na odpowiadających sobie głębokościach, co dało wypadkową zmian.

CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANYCH ZJAWISK

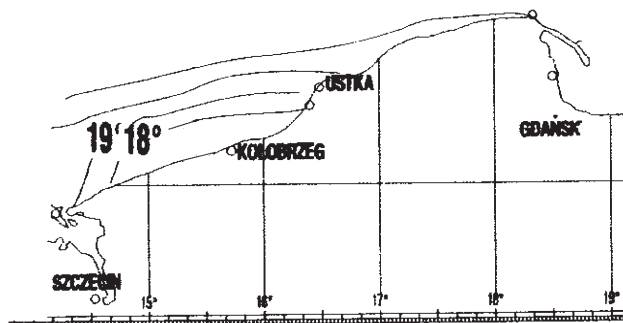
Zjawisku upwellingu przy polskim brzegu Bałtyku poświęcono stosunkowo dużo uwagi. Prace z tego zakresu dotyczą jednak głównie morskiej strefy przybrzeżnej towarzyszącej Półwypowi Helskiemu. Strefa ta jednak różni się zasadniczo od pozostałej części polskiego wybrzeża. Występują w niej bowiem niewspółmiernie większe głębokości w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu – rzędu kilkudziesięciu metrów. Są one zatem kilka razy większe niż w przypadku drugim, gdzie głębokości osiągają zaledwie kilka do kilkunastu metrów. Różnica taka ma zasadniczy wpływ na wszelkie wskaźniki wód głębszych migrujących ku powierzchni. Wyraźnie zaznacza się dwudzielność badań upwellingów, tzn. jedne dotyczą fizycznych i chemicznych zmian parametrów wód (np. Matciak i in. 2005; Bradtke i in. 2005), drugie zaś zagadnień związanych z produktywnością biologiczną (np.: Burska, Szymelfenig 2005; Zalewski i in. 2005; Bielecka i in. 2005). Spośród publikacji traktujących zjawiska upwellingów, odnoszące się do całego polskiego wybrzeża, wymienić należy pracę Urbańskiego (1995).

Pierwsze pomiary temperatury wykonano 13 VII 2006 r. Miała wówczas miejsce niezaburzona stratyfikacja termiczna (ryc. 1). Wody przypowierzchniowe o miąższości około 2 m charakteryzowały się temperaturą powyżej 18°C. Potwierdza to sytuacja układu izoterm z tego dnia, określona dla powierzchni tej części Bałtyku (ryc. 2). Od głębokości 2 m do około 5 m następował spadek temperatury wody do około 9–10°C – była to więc strefa termokliny



Ryc. 1. Układ izoterm w analizowanym przekroju (13 VII 2006)

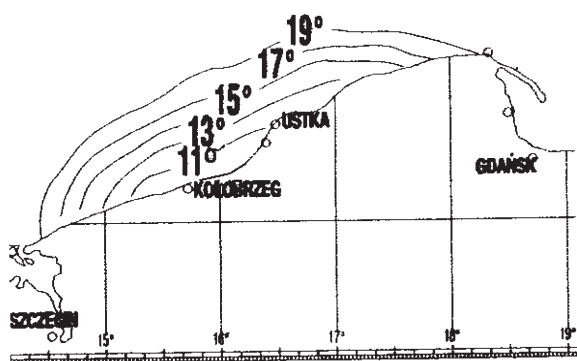
Fig. 1. Isotherm structure in the analysed cross-section (2006-07-13)



Ryc. 2. Układ izoterm na powierzchni południowego Bałtyku (wg The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – nr 56 2006-07-13)

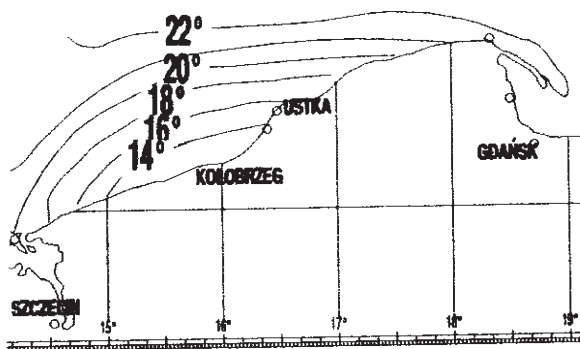
Fig. 2. Isotherm structure on the surface of the southern Baltic Sea (according to The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – no. 56 2006-07-13)

o gradientie około 3°C na metr głębokości. Poniżej 8 m głębokości temperatura wody wynosiła około 6°C , najniższa zaś $-5,4^{\circ}\text{C}$ zalegała na głębokości 16,5 m. Sytuacja stabilnego układu termicznego 13 VII była poprzedzona upwellingiem o szerokim zasięgu, który wystąpił między 6 i 10 VII (ryc. 3 i 4). Układ izoterm uległ diametralnej zmianie 29 VII. Ciepłejsze wody przybrzeżne (powyżej 22°C) zostały zepchnięte 1,5 km od brzegu i nastąpił wyraźny upad izoterm 22°C w kierunku otwartego morza – 4,5 km od brzegu osiągnęła ona bowiem głębokość 6 m (ryc. 5). Inne izoterm, tj. od 20°C do 12°C , wskazują także wyraźne nachylenie w kierunku rosnących głębokości. Układ tego typu świadczy



Ryc. 3. Układ izoterm na powierzchni południowego Bałtyku (wg The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – nr 54 2006-07-06)

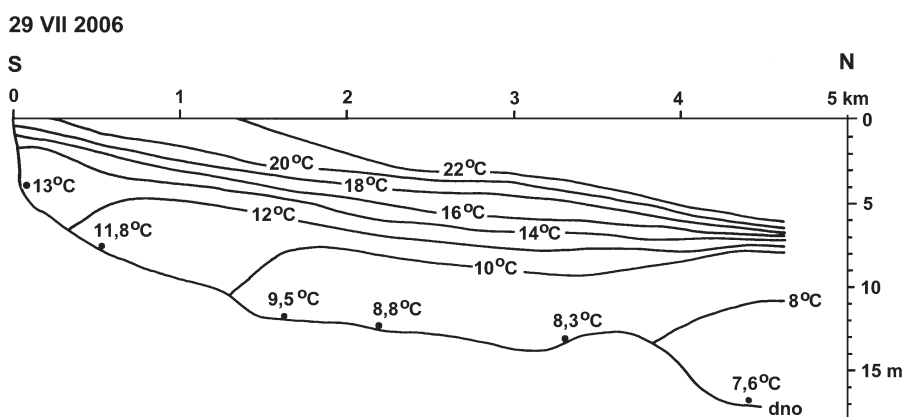
Fig. 3. Isotherm structure on the surface of the southern Baltic Sea (according to The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – no. 54 2006-07-06)



Ryc. 4. Układ izoterm na powierzchni południowego Bałtyku (wg The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – nr 55 2006-07-10)

Fig. 4. Isotherm structure on the surface of the southern Baltic Sea (according to The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – no. 55 2006-07-10)

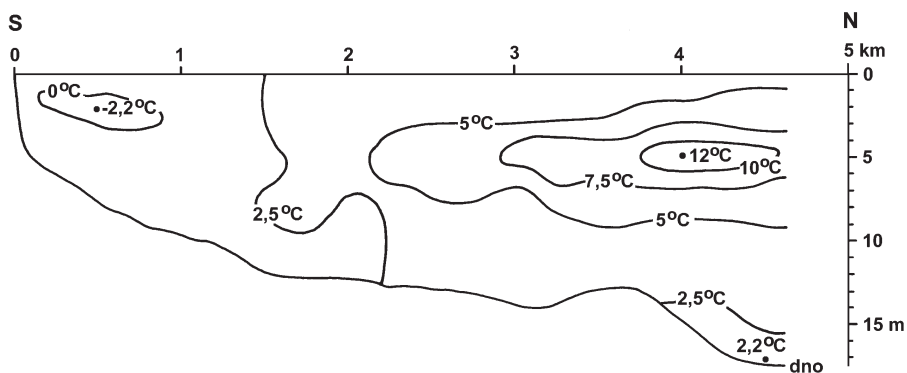
o typowej cyrkulacji związanej z upwellingiem, czyli podpłynięciu głębszych zimniejszych wód ku powierzchni, na miejsce cieplejszych, zepchniętych w kierunku otwartego morza. Należy dodać, że 29 VII generalnie wody były znacznie cieplejsze w całym analizowanym przekroju w stosunku do sytuacji z 13 VII. Najcieplejsza temperatura wody w późniejszym terminie była o 4°C wyższa niż 13 VII, wody najzimniejszej zaś była wyższa o 2,2°C. Nałożenie na siebie układu izoterm z 13 i 29 VII pozwoliło na określenie zaistniałych różnic temperatury wody w analizowanym przekroju (ryc. 6). Jedynie w strefie przybrzeżnej (do 1 km od brzegu na głębokości 1–3 m) miało miejsce wychłodzenie wód.



Ryc. 5. Układ izoterm w analizowanym przekroju (29 VII 2006)

Fig. 5. Isotherm structure in the analysed cross-section (2006-07-29)

13 VII–29 VII 2006



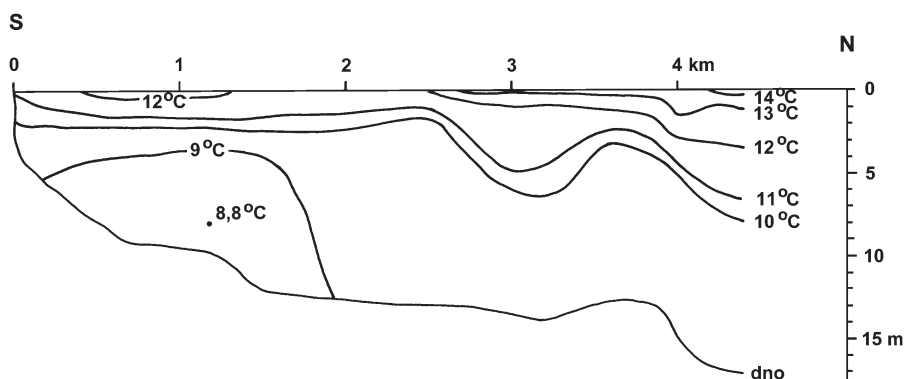
Ryc. 6. Różnice temperatur w analizowanym przekroju między 13 VII a 28 VII 2006

Fig. 6. Temperature differences in the analysed cross-section between 2006-07-13 and 2006-07-28

Największa strefa cieplejszych wód zawiera się w przedziale izoterm 2,5–5°C. Oś strefy maksymalnego ocieplenia wód występuje na głębokości 5 m. Jej zasięg wyznaczony przez izotermę 5°C ma długość 2,5 km, 7,5°C – blisko 2 km i 10°C – 0,8 km. Maksymalny wzrost temperatury wyniósł aż 12°C.

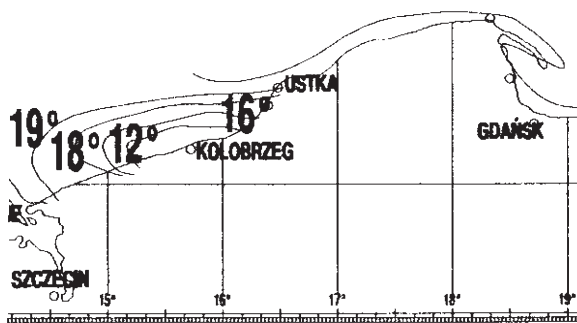
Kolejne pomiary wykonano 31 VII 2008 r. Do brzegu przylegały wody zimne o temperaturze 11–12°C (ryc. 7). Zasięg tej strefy zimnych wód powierzchniowych był znaczny (ryc. 8) i pogłębiał się zdecydowanie od 28 VII (ryc. 9). Należy zaznaczyć, że temperatura wód powierzchniowych w analizowanej strefie była najniższa w całym akwenu Morza Bałtyckiego. Układ izobat z 31 VII

31 VII 2008



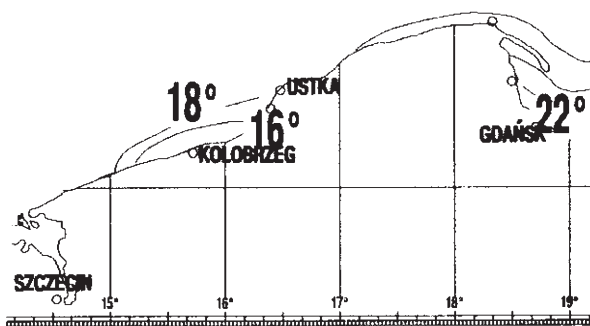
Ryc. 7. Układ izoterm w analizowanym przekroju (31 VII 2008)

Fig. 7. Isotherm structure in the analysed cross-section (2008-07-31)



Ryc. 8. Układ izoterm na powierzchni południowego Bałtyku (wg The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – 2008-07-31 08:15)

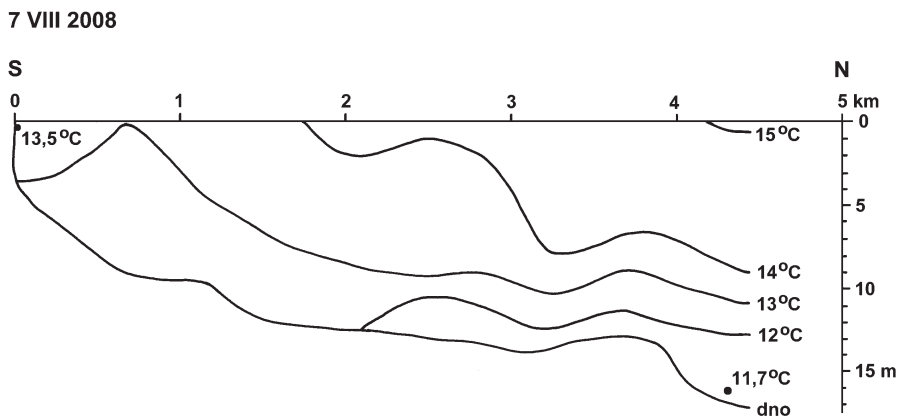
Fig. 8. Isotherm structure on the surface of the southern Baltic Sea (according to The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – 2008-07-31 08:15)



Ryc. 9. Układ izoterm na powierzchni południowego Bałtyku (wg The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – 2008-07-28 08:45)

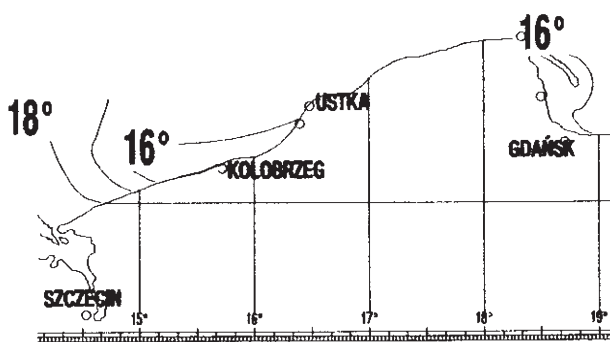
Fig. 9. Isotherm structure on the surface of southern Baltic Sea (according to The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – 2008-07-28 08:45)

wskazuje na podpłynięcie chłodniejszych głębszych wód bezpośrednio do brzegu. Wody najzimniejsze, tj. poniżej 9°C , występowały na głębokości około 5 m zaledwie 150 m od linii brzegowej, o temperaturze $10\text{--}11^{\circ}\text{C}$ zaś przylegały do niej. Wyraźne pochylenie izobat $10\text{--}13^{\circ}\text{C}$ w kierunku otwartego morza nastąpiło 2,5 km od brzegu. Dopiero w odległości 4,2 km od brzegu woda osiągnęła temperaturę 14°C , a zatem „soczewka” cieplejszej wody zalega jeszcze dalej, co potwierdza układ izoterm na powierzchni (ryc. 8). Temperatura wód określona 7 VIII 2008 r. (ryc. 10) ma bardziej stabilny układ niż poprzedni, tj. dla 31 VII. Jakkolwiek upad izoterm jest wyraźny w kierunku otwartego morza, to różnice temperatur w całej masie wód są wyjątkowo małe – jedynie $3,3^{\circ}\text{C}$. W tym przypadku nie ma zbieżności między powyższymi pomiarami a tymi, które odnoszą się do powierzchni Bałtyku (ryc. 11). Wynika to zapewne z faktu, iż w tym



Ryc. 10. Układ izoterm w analizowanym przekroju (7 VIII 2008)

Fig. 10. Isotherm structure in the analysed cross-section (2008-08-07)

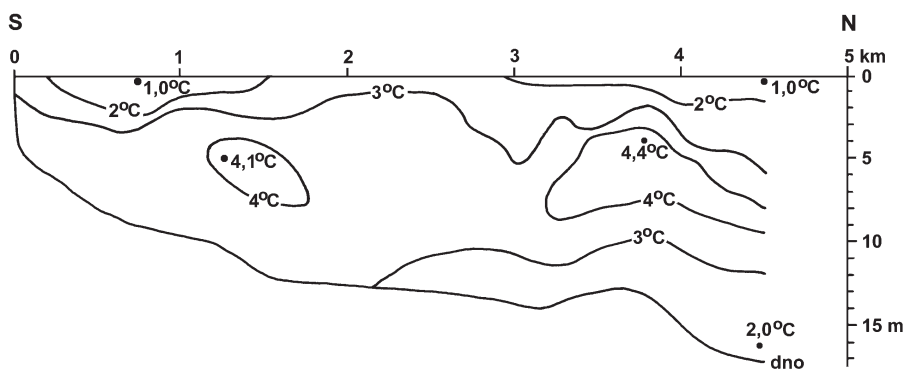


Ryc. 11. Układ izoterm na powierzchni południowego Bałtyku (wg The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – 2008-08-07 08:30)

Fig. 11. Isotherm structure on the surface of the southern Baltic Sea (according to The Swedish Meteorological and Hydrological Institute – 2008-08-07 08:30)

drugim przypadku sytuacja dotyczy godziny 8:30, natomiast pomiary bezpośrednie wykonywane były około 14:00. Świadczy to o wyjątkowo dużej dynamice zmian temperatury wód w krótkich interwałach czasowych. Przybrzeżne, cieplejsze wody zostały, podobnie jak 31 VII, przemieszczone daleko od lądu, bowiem izoterma 15°C zaznacza się dopiero 4,2 km od niego. Powtórzono procedurę nałożenia izoterm z dwóch pomiarów, tj. z 31 VII i 7 VIII, w rezultacie powstał obraz różnic temperatur (ryc. 12). Mimo iż sytuacja powyższa różni się zasadniczo od tej z 2006 r. z uwagi na inną temperaturę wód, to dostrzec można pewne podobieństwa. Otóż, w strefie przybrzeżnej (do 1,5 km od brzegu na głębokości 1–2 m) miało miejsce najmniejsze ocieplenie wód. Oś strefy

31 VII–7 VIII 2008



Ryc. 12. Różnice temperatur w analizowanym przekroju między 31 VII a 7 VIII 2008

Fig. 12. Temperature differences in the analysed cross-section between 2008-07-31 and 2008-08-07

maksymalnego ocieplenia wód zalegała na głębokości 5–7 m. Jej łączny zasięg wyznaczony przez izotermę 4°C wyniósł blisko 2 km.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono przykłady rzadkich i krótkotrwałych zjawisk, jakimi są upwellingi. Obserwacje prowadzono w okolicy Mielna. Polegały one na pomiarach temperatury wód w przekroju o długości 4,5 km, prostopadłym do brzegu, w pionach pomiarowych od powierzchni do dna co 1 m odległość pionów wynosiła 200 m. Zastosowana metodyka okazała się najlepszą. Uzyskiwany bowiem z powietrza obraz izoterm na powierzchni poprzez wzbogacenie danych z pionów termicznych pozwala na rozpatrywanie zjawiska niejako w trzech wymiarach. Z analizy uzyskanych danych wynika, że w rezultacie upwellingu ciepłe wody przybrzeżne przemieszczają się od brzegu w kierunku otwartego morza na odległość kilku kilometrów. Zalegają one przy powierzchni w kształcie „soczewki”, której miąższość jest rzędu kilku metrów, na przykład 29 VII 2006 r. Układy termiczne tego typu są bardzo nietrwałe i rzadko występują przez kilka dni. W przyszłości wskazane byłoby przeprowadzenie podobnych pomiarów, jednak w znacznie większej odległości od brzegu, tj. do północnego zasięgu „soczewki” wód cieplejszych. Pożądane także byłoby prowadzenie pomiarów w kilku przekrojach prostopadłych do brzegu. Wówczas bowiem można uzyskać odpowiedź na pytanie, czy i w jakiej mierze zachodzące zmiany w termicznej strukturze mas wód objętych upwellingiem są jednorodne. Również zwiększenie częstotliwości pomiarów pozwoliłoby na określenie

analizowanego zjawiska od fazy początkowej do zaniku, a także wyodrębnienie upwellingów o pełnym lub jedynie częściowym wykształceniu.

*

Bardzo serdecznie dziękuje Pani mgr Alicji Baczyńskiej, Pani dr inż. Agnieszce Strzelczak oraz Panu dr. Markowi Półrończakowi za pomoc w przygotowaniu artykułu do druku.

LITERATURA

- Bielecka L., Krajewska-Sołtys A., Szymanek L., Szymelfenig M., 2005: *Mesozooplankton in the Hel upwelling region (the Baltic Sea)*. Oceanological and Hydrobiol. Stud., Vol. XXXIV, Suppl. 2, 137–161.
- Bradtke K., Burska D., Matciak M., Szymelfenig M., 2005: *Suspended particulate matter in the Hel upwelling region (the Baltic SEA)*. Oceanological and Hydrobiol. Stud., Vol. XXXIV, Suppl. 2, 53–73.
- Burska D., Szymelfenig M., 2005: *The upwelling of nutrients in the coastal area of the Hel Peninsula (the Baltic Sea)*. Oceanological and Hydrobiol. Stud., Vol. XXXIV, Suppl. 2, 75–96.
- Choiński A., 1985: *Zmienność osadów dennych strefy brzegowej Bałtyku w wybranym przekroju*. Koszalińskie Stud. i Mat., nr 3/43, 24–37.
- Matciak M., Burska D., Bradtke K., Kałużny M., Szymanek L., Szymelfenig M., 2005: *Description of hydrological conditions in the Hel upwelling region (the Baltic Sea)*. Oceanological and Hydrobiol. Stud., Vol. XXXIV, Suppl. 2, 11–33.
- Urbański J., 1995: *Upwellingi polskiego wybrzeża Bałtyku*. Przegl. Geofiz., Roczn. XL, z. 2.
- Zalewski M., Ameryk A., Szymelfenig M., 2005: *Primary production and chlorophyll a concentration during upwelling events along the Hel Peninsula (the Baltic Sea)*. Oceanological and Hydrobiol. Stud., Vol. XXXIV, Suppl. 2, 97–113.