

Среда обитания водных  
биологических ресурсов

УДК 639.2.053.(268.43)

**Опыт использования температурно-акустических разрезов  
в международных экосистемных съёмках для анализа  
распределения пелагических рыб Норвежского моря***Е.В. Сентябов*

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им.  
Н.М. Книповича (ФГБНУ «ПИНРО»), г. Мурманск  
E-mail: sentyab@pinro.ru

Представлены результаты совместного анализа вертикальных разрезов, построенных на основе распределения гидроакустических коэффициентов обратного поверхностного рассеяния (акустических значений) для сельди и путассу с учётом вертикального распределения температуры в ходе международных съёмок пелагических рыб в Норвежском море в 2011–2017 гг. Накопленный опыт позволил провести сравнение пространственного и вертикального распределения пелагических рыб при различных океанографических условиях ряда лет и выявить климатические особенности концентрации рыбы различных возрастных групп. Выявлено, что путассу концентрируется в восточной части Норвежского моря преимущественно над континентальным шельфовым склоном и в высоко-градиентной термической зоне в слое 200–300 м с тёплой стороны фронтальных разделов между тёплыми и холодными водами. Наибольшие скопления сельди в летний нагульный период отмечаются в западной части моря в широком диапазоне глубины и температуры. От года к году наблюдается смещение фронтальных зон в восточном или западном направлении, что весьма ощутимо влияет на распределение путассу. Для сельди, в отличие от путассу, более важны не смещение фронтальных зон, а крупномасштабные процессы, формирующие миграционные пути и связанные с условиями среды, возрастной структурой рыбы и наличием корма.

**Ключевые слова:** Норвежское море, атлантическо-скандинавская сельдь *Clupea harengus harengus*, путассу *Micromesistius poutassou*, температура, акустические значения, распределение.

**ВВЕДЕНИЕ**

В Норвежском море вот уже более 20 лет проводятся международные комплексные исследования запасов пелагических рыб, являющиеся частью международных экосистемных съёмок в северных морях. В этих тралово-акустических съёмках [ICES, 2015] выполняется

учёт основных промысловых объектов Норвежского моря, таких как атлантическо-скандинавская сельдь и путассу Северо-Восточной Атлантики. Ранее на акватории Норвежского моря с середины 50-х гг. XX в. ПИНРО ежегодно проводил комплексные летние промыслово-океанографические съёмки на стан-

дартных разрезах, охватывая практически всё море сначала в рамках национальной программы, а затем и в ходе международных экосистемных исследований [Карсаков и др., 2000; Сентябов, 2000]. К сожалению, в середине 2000-х гг. эти исследования ПИПРО в Норвежском море значительно уменьшились [Педченко и др., 2005], а затем и полностью прекратились, и вся информация об океанографическом состоянии вод и распределении рыб в Норвежском море в летний период поступала лишь с иностранных судов, участвующих в международных съёмках.

Как правило, после завершения этих съёмок объединённые акустические коэффициенты обратного поверхностного рассеяния (акустические значения) для различных видов рыб интегрируются по всей толще воды для дальнейшей оценки их запасов [ICES, 2015]. Для лучшего понимания особенностей распределения промысловых объектов в зависимости от условий окружающей среды автором было предложено совместно анализировать вертикальные распределения температуры и акустических значений для сельди и путассу на выполняемых широтных разрезах.

Новизна представленного в статье подхода, в отличие от традиционной оценки пространственного распределения акустических значений по интегрированным величинам по слою, заключается в возможности совместного анализа квази-трёхмерного распределения рыбы по акустическим значениям и данным температуры воды как в пространственном, так и в вертикальном масштабах. Некоторые результаты, полученные с использованием этого подхода, представлены в настоящей статье.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы океанографические данные, полученные автором в ходе исследований на норвежских научно-исследовательских судах «G.O. Sars» и «Johan Hjort» на широтных разрезах в Норвежском море в период съёмок пелагических рыб (май-июнь) в 2011–2017 гг. Сбор океанографической информации вёлся с использованием зонда SBE9Plus при погружении прибора с осреднением данных через 1 м. При описываемых исследованиях использовались данные по температуре воды

до глубины 500 м. Для построения разрезов данные по температуре с помощью пакета прикладных программ Surfer преобразовывались в узлы регулярной сетки с пространственным шагом  $0,5^\circ$  по долготе и 10 м по глубине.

Также в работе использовались данные акустических наблюдений, полученные с помощью эхолотов EK60, EK80, прошедшие экспертную обработку и разделённые на акустические показания для сельди и путассу в виде коэффициентов обратного рассеяния ( $s_A$ , м<sup>2</sup>/кв. миля) [Методическое пособие, 2006] с шагом 1 морская миля по горизонтали и 10 м по глубине. Полученные данные отдельно для сельди и путассу также были приведены в узлы регулярной сетки с использованием пакета Surfer.

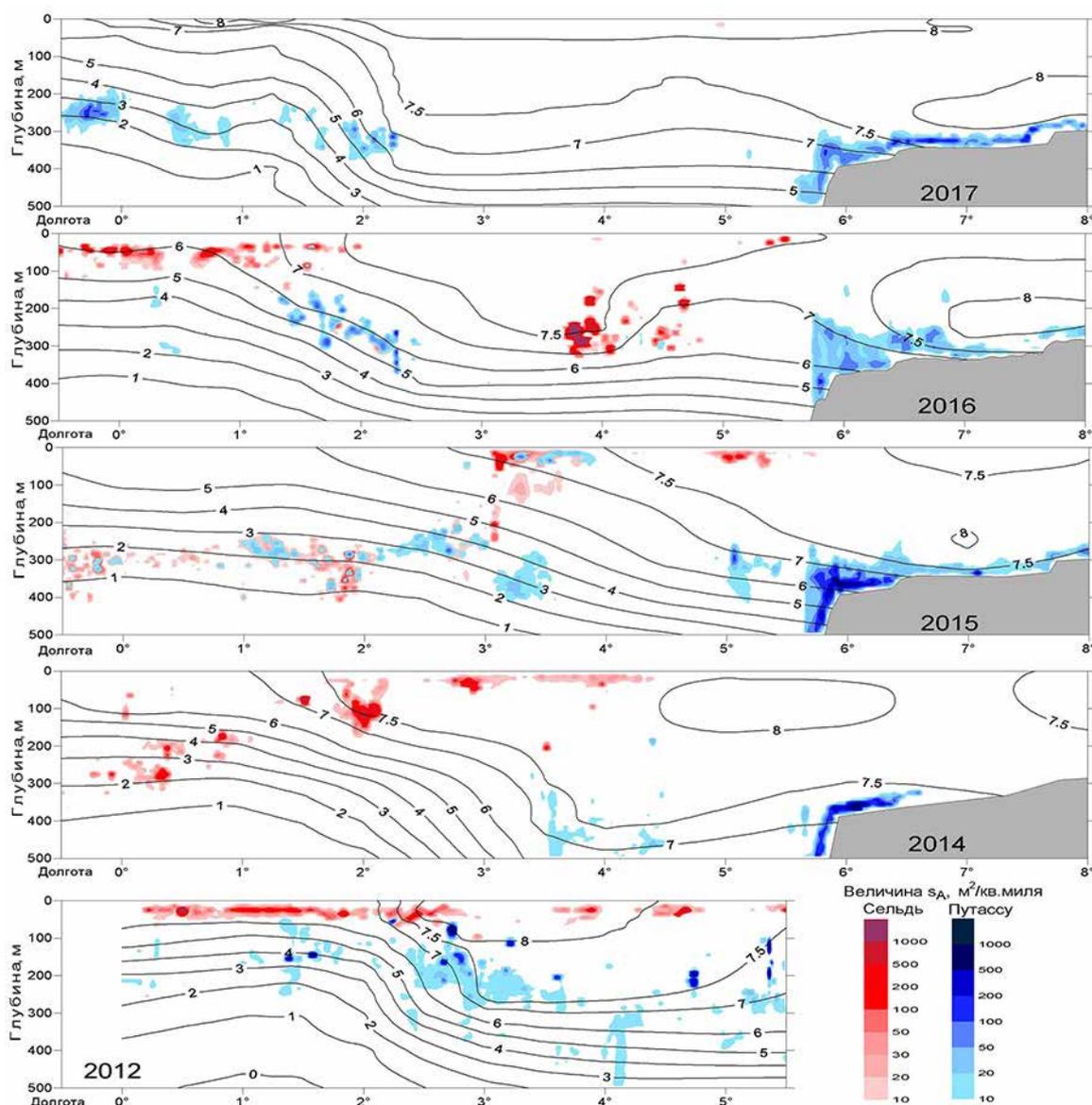
Графики вертикального распределения температуры, коэффициентов обратного рассеяния для сельди и путассу были совмещены в общем масштабе для каждого разреза, пространственно ориентированного с запада на восток. В результате для каждой съёмки 2011–2017 гг. было построено от 8 до 10-ти комбинированных температурно-акустических разрезов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Полученные комбинированные графики вертикального распределения акустических значений для сельди и путассу в зависимости от температуры позволили выявить некоторые закономерности и особенности для каждого конкретного года.

Наиболее выраженные межгодовые различия распределения пелагических рыб прослеживались на разрезах, выполненных в различные годы в близких координатах. К наиболее часто повторяющимся относится разрез вдоль  $64^\circ 15'$  с. ш. в юго-восточной части моря (рис. 1). Наиболее информативными с точки зрения распределения рыбы в различных частях моря стали разрезы (выполняющиеся с 2015 г.), пересекающие всё Норвежское море с запада на восток от берегов Исландии до Норвегии и охватывающие как тёплые, так и холодные водные массы с фронтальными зонами между ними (рис. 2 и 3).

Выявлено, что в течение всего периода наблюдений наиболее массовые концентрации путассу располагались в восточной части моря над шельфовым склоном Скандинавии в слое

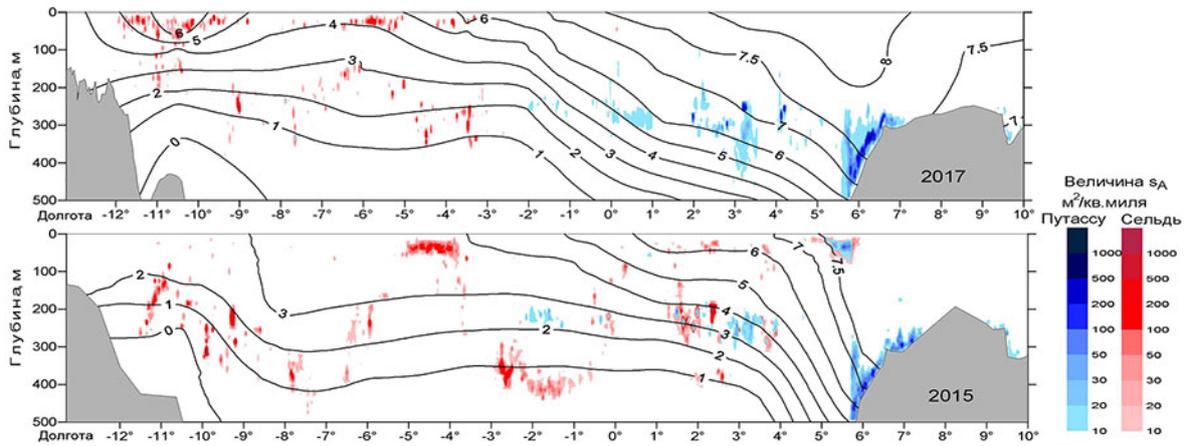


**Рис. 1.** Вертикальное распределение температуры ( $^{\circ}C$ ) в слое 0–500 м и значений коэффициентов обратного поверхностного рассеяния ( $s_A$ ,  $m^2/km^2$ ) для сельди и путассу в мае 2012, 2014–2017 гг. на разрезе вдоль  $64^{\circ}15'$  с. ш.

300–500 м и в промежуточном слое (200–300 м) с тёплой стороны термической высокоградиентной зоны с температурой от 2 до 6  $^{\circ}C$  (см. рис. 1–3). При этом путассу в весенне-летний нагульный период отмечается повсеместно преимущественно к востоку от нулевого меридиана. В отдельные годы (2010–2011), когда отмечался коллапс запаса путассу [Сентябов и др., 2012], рыба концентрировалась только над шельфовым склоном в очень незначительных количествах, а в другие годы (2012,

2015, 2016), наоборот, создавая смешанные скопления с сельдью распространялась и в относительно холодных смешанных водах в центральной части моря (см. рис. 2–3).

Атлантическо-скандинавская сельдь в период тралово-акустических съёмок концентрируется преимущественно в западной части района исследований в широком диапазоне глубин и температуры, достигая в отдельные годы на западе моря глубины 450 м при температуре ниже 0  $^{\circ}C$  (см. рис. 3). Как по-

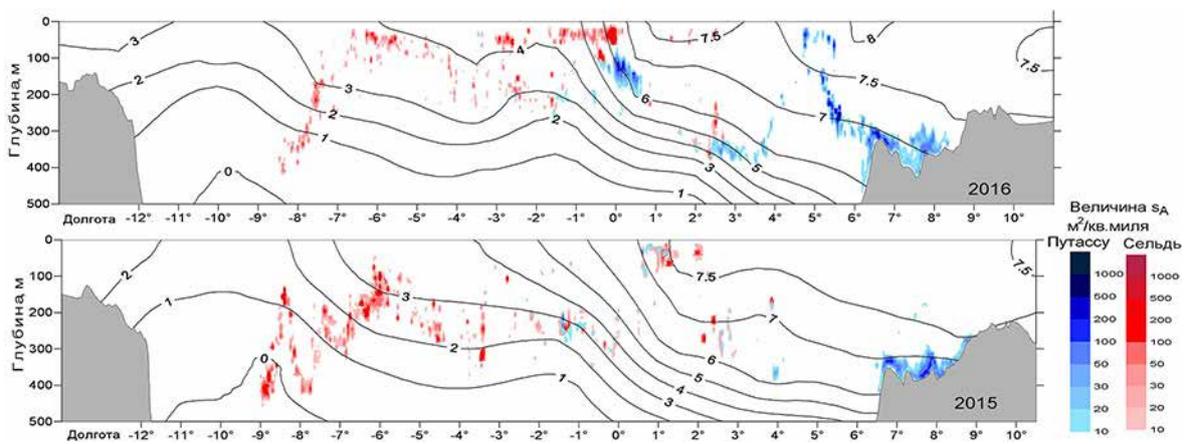


**Рис. 2.** Вертикальное распределение температуры воды (°C) в слое 0–500 м и значений коэффициентов обратного поверхностного рассеяния ( $s_A$ , м<sup>2</sup>/кв. миля) для сельди и путассу в мае 2015 и 2017 гг. на разрезах вдоль 64°50'–65°00' с. ш. в Норвежском море

казали результаты возрастного анализа проб сельди из траловых уловов, в западной части моря преобладала рыба старших возрастных групп поколения 2004, 2006 и 2009 гг. Часть сельди, преимущественно младших возрастов (4–5 лет), распределялась в восточной части моря в верхнем 50-метровом слое при температуре 6–8 °C (см. рис. 1–3).

Серии наблюдений, проведённые в разные годы на условных разрезах в близких координатах, позволили найти ряд особенностей в распределении пелагических рыб в зависимости от океанографических и, возможно, кормовых условий. Так, от года к году наблюдалось как смещение термической высокоградиент-

ной зоны в восточном или западном направлении, так и обострение этой зоны на различных участках и в различных слоях (см. рис. 1). Наиболее сильно эти различия во фронтальной зоне влияют на распределение путассу, концентрирующейся с тёплой стороны фронтальной зоны. Для сельди, в отличие от путассу, более важны не вышеуказанные локальные особенности, а крупномасштабные механизмы, связанные с условиями среды, возрастной структурой и наличием корма, формирующими миграционные пути [Атлас промысла сельди ..., 2003]. Так, например, если летом 2015–2016 гг. сельдь распределялась в южной и центральной частях Норвежского моря в большом



**Рис. 3.** Вертикальное распределение температуры (°C) в слое 0–500 м и значений коэффициентов обратного поверхностного рассеяния ( $s_A$ , м<sup>2</sup>/кв. миля<sup>2</sup>) для сельди и путассу в мае 2015 и 2016 гг. на разрезах вдоль 66°00'–66°15' с. ш. в Норвежском море

количестве, то в 2017 г. она в указанных районах не встречалась вообще (см. рис. 1–2).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа комбинированных вертикальных профилей температуры воды и акустических коэффициентов обратного поверхностного рассеяния для таких массовых пелагических видов, обитающих в Норвежском море, как путассу и сельдь, выявлен ряд общих закономерностей и межгодовых особенностей их распределения.

В настоящее время полученные комбинированные вертикальные разрезы используются только в оперативной работе в научных съёмках для более детального представления о распределении рыбы в том или ином районе в зависимости от условий среды. В будущем возможно использование подобных комбинированных разрезов в 3D-моделях распределения рыбы не только в Норвежском, но и в других морях, что позволит наиболее рационально использовать добывающий флот на промысле пелагических рыб.

### ЛИТЕРАТУРА

- Атлас промысла сельди в Норвежском море в 1995–2001 гг.* 2003 // Сост. Г.Н. Морозова, Е.В. Сентябов. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 127 с.
- Карсаков А.А., Сентябов Е.В., Бочков Ю.А. 2000. Температура поверхности Северной Атлантики и долгосрочное прогнозирование абиотических и биотических параметров экосистемы Северного бассейна // Мат. отчётной сессии ПИНРО по итогам научно-исслед. работ в 1998–1999 гг. Мурманск: Изд-во ПИНРО. Ч. 1. С. 188–199.
- Методическое пособие по проведению инструментальных съёмок запасов промысловых гидробионтов в районах исследований ПИНРО, 2006. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 163 с.
- Педченко А.П., Боровков В.А., Гузенко В.В., Карсаков А.А., Лободенко С.Е., Сентябов Е.В. 2005. Пространственно-временные изменения абиотических факторов и их влияние на биолого-промысловые показатели Северного бассейна в 2003–2004 гг. // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 2. С. 101–126.
- Сентябов Е.В. 2000. Колебания теплового состояния вод Норвежского моря во второй половине 90-х годов и их влияние на распределение пелагических рыб // Мат. отчётной сессии ПИНРО по итогам научно-исслед. работ в 1998–1999 гг. — Мурманск: Изд-во ПИНРО. Ч. 1. С. 178–187.
- Сентябов Е.В., Оганин И.А., Ахтарина Т.А. 2012. Промыслово-биологические и океанологические причины резкого снижения запасов путассу Северо-Восточной Атлантики во второй половине 2000-х гг. // Тез. докл. IX Всеросс. конф. по проблемам рыбопромыслового прогнозирования, посвящённой 150-летию со дня рождения Н.М. Книповича. Мурманск. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 1 CD-ROM.
- ICES. 2015. Manual for International Pelagic Surveys (IPS). Series of ICES Survey Protocols SISP 9. — IPS.— 92 pp.

Поступила в редакцию 17.08.2018 г.  
Принята после рецензии 18.09.2018 г.

## Habitat of aquatic biological resources

### Experience of using temperature-acoustic transects from international ecosystem surveys for analysis of pelagic fish distribution in the Norwegian Sea

*E.V. Sentyabov*

N.M. Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (FSBSI «PINRO»), Murmansk

The results of the analysis of combined vertical transects with temperature and the acoustic nautical area scattering coefficients (acoustic values) distribution for herring and blue whiting are presented in the paper. The data were obtained on transects during summer pelagic surveys 2011–2017. The accumulated experience has made it possible to compare the spatial and vertical distribution of pelagic fish under different oceanographic conditions. Some climatic features of concentrations of fish of different age groups are revealed. It is shown that blue whiting is concentrated in the eastern part of the Norwegian Sea mainly over the continental shelf slope and in the high temperature gradient area in the layer 200–300 m within the warm side of the thermal frontal zone. In the summer feeding period, the largest schools of Atlanto-Scandian herring are observed in the western part of the sea in a wide range of depth and temperature. There is a shift of frontal zones eastward or westward, which significantly affects the distribution of blue whiting. For herring, in contrast to blue whiting, the shifting of the frontal zones is less important than large-scale processes forming migration routes which depend from environmental conditions, age access and availability of feed.

**Keywords:** the Norwegian Sea, herring, blue whiting, temperature, acoustic values, distribution.

#### REFERENCES

- Atlas promysla sel'di v Norvezhskom more v 1995–2001 gg.* 2003 [Atlas of Herring fisheries in the Norwegian Sea in 1995–2001.] // Sost. G.N. Morozova, E.V. Sentyabov. Murmansk: Izd-vo PINRO. 127 s.
- Karsakov A.L., Sentyabov E.V., Bochkov Yu.A.* 2000. Temperatura poverhnosti Severnoj Atlantiki i dolgosrochnoe prognozirovanie abioticheskikh i bioticheskikh parametrov ekosistemy Severnogo bassejna [The sea surface temperature in the Northern Atlantic and long-term forecasting of biotic and abiotic parameters of Northern Basin ecosystem] // Mat. otchetnoj sessii PINRO po itogam nauchno-issled. rabot v 1998–1999 gg. Murmansk: Izd-vo PINRO. Ch. 1. S. 188–199.
- Metodicheskoe posobie po provedeniyu instrumental'nyh s'emok zapasov promyslovykh gidrobiontov v rajonah issledovaniy PINRO* [Methodological manual for instrumental surveys of commercial hydrobionts stocks in the areas of PINRO research]. 2006. Murmansk: Izd-vo PINRO. 163 s.
- Pedchenko A.P., Borovkov V.A., Guzenko V.V., Karsakov A.L., Lobodenko S.E., Sentyabov E.V.* 2005. Prostranstvenno-vremennye izmeneniya abioticheskikh faktorov i ih vliyanie na biologo-promyslovye pokazateli Severnogo bassejna v 2003–2004 gg. [Spatio-temporal changes of abiotic factors and their influence on the biological and fishing indices of the Northern Basin in 2003–2004] // Voprosy

- promyslovoj okeanologii. M.: Izd-vo VNIRO. Вып. 2. S. 101–126.
- Sentyabov E.V.* 2000. Kolebaniya teplovogo sostoyaniya vod Norvezhskogo morya vo vtoroj polovine 90-h godov i ih vliyanie na raspredelenie pelagicheskikh ryb [Fluctuations in the thermal state of the waters of the Norwegian Sea in the second half of the 1990s and their influence to the distribution of pelagic fish] // Materialy otchetnoj sessii PINRO po itogam nauchno-issled. rabot v 1998–1999 gg. Murmansk: Izd-vo PINRO. Ch. 1. S. 178–187.
- Sentyabov E.V., Oganin I.A., Ahtarina T.A.* 2012. Promyslovo-biologicheskie i okeanologicheskie prichiny rezkogo snizheniya zapasov putassu Severo-Vostochnoj Atlantiki vo vtoroj polovine 2000-h gg. [The commercial-biological and oceanological reasons for the sharp decrease in the blue whiting stocks of the North-East Atlantic in the second half of the 2000s.]: Tez. dokl. IX Vseross. konf. po problemam rybopro-myslovogo prognozirovaniya, posvyashchennoj 150-letiyu so dnya rozhdeniya N.M. Knipovicha. Murmansk: Izd-vo PINRO. 1 CD-ROM.
- ICES.* 2015. Manual for International Pelagic Surveys (IPS). Series of ICES Survey Protocols SISP 9. — IPS.— 92 pp.

#### FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** Vertical distribution of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in 0–500 m layer and acoustic values ( $s_A$ ,  $\text{m}^2/\text{nm}^2$ ) for herring and blue whiting in May 2012, 2014–2017 on the transect along  $64^{\circ}15'$  N in the Norwegian Sea
- Fig. 2.** Vertical distribution of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in 0–500 m layer and acoustic values ( $s_A$ ,  $\text{m}^2/\text{nm}^2$ ) for herring and blue whiting in May 2015 and 2017 on the transect along  $64^{\circ}50'$ – $65^{\circ}00'$  N in the Norwegian Sea
- Fig. 3.** Vertical distribution of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in 0–500 m layer and acoustic values ( $s_A$ ,  $\text{m}^2/\text{nm}^2$ ) for herring and blue whiting in May 2015 and 2017 on the transect along  $66^{\circ}00'$ – $66^{\circ}15'$  N in the Norwegian Sea