



*Цхай Ж. Р. <sup>(1)</sup>, Шевченко Г.В. <sup>(1, 2)</sup>*

*(1) Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), Южно-Сахалинск, Россия*

*(2) Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия*

**ВЛИЯНИЕ СТОКА РЕКИ АМУР НА ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА А  
В АМУРСКОМ ЛИМАНЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ ПО ДАННЫМ  
СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**



Река Амур является крупнейшей рекой Дальнего Востока России (годовой объем стока ок. 400 км<sup>3</sup>), она оказывает влияние на гидрологические условия не только естественного эстуария – Амурского лимана, но и на прилегающие акватории, прежде всего на Сахалинский залив Охотского моря и северную часть Татарского пролива Японского моря. В эстуарии речная вода смешивается с морской и формируется **распресненная модифицированная вода**, которая идентифицируется по распределениям температуры поверхности моря (ТПМ) и концентрации хлорофилла *a* благодаря более высоким значениям данных параметров (Жабин и др., 2007, 2010; Цхай и др., 2016, Андреев, 2019).

## Цель данной работы – систематизировать информацию и описать пространственно-временные вариации ТПМ и концентрации хлорофилла *a* в морских акваториях, подверженных влиянию **модифицированной воды** стока реки Амур.

Район исследований – [139°42′–142°42′ в.д., 47°42′–54°42′ с.ш.]

Данные по ТПМ за 1998–2021 гг. получены станцией TeraScan®, Южно-Сахалинск (<https://seaspace.com>).

Данные о концентрации хлорофилла *a* 2-го уровня за 2003–2021 гг. получены MODIS (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>), проецирование с помощью SeaDAS (<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>).

Пространственное разрешение – ок. 2 км, временная дискретность – 1 месяц.

Данные о расходе реки Амур за 1998–2020 г. (за исключением 2003 г. пост с. Богородское).

Анализ – метод естественных ортогональных функций (ЕОФ) [Багров, 1959], гармонический анализ.

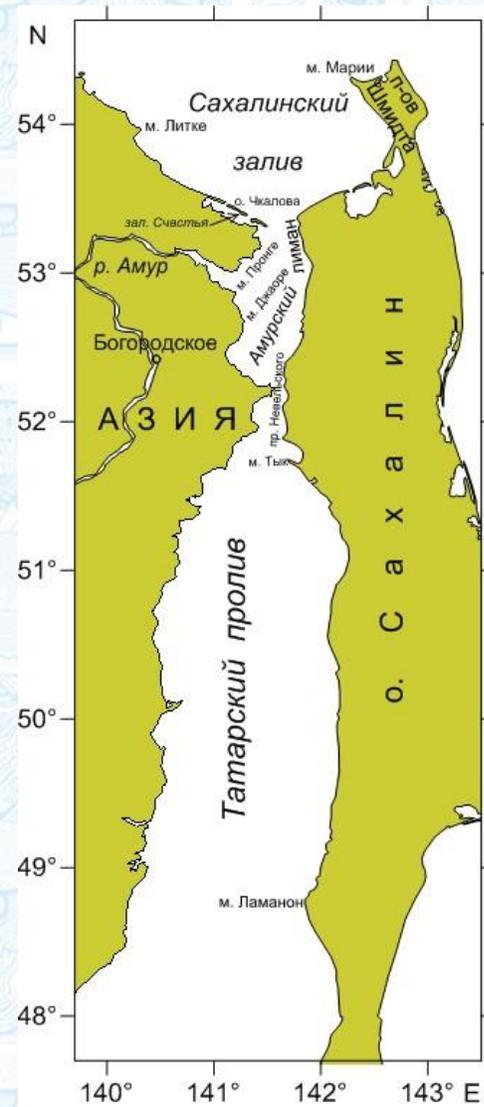
**Андреев А. Г.** Распределение распресненных вод Амурского лимана в Охотском море по данным спутниковых наблюдений // Исследование Земли из космоса. – 2019. – № 2. – С. 89–96.

**Багров Н. А.** Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Труды Центрального института прогнозов. – 1959. – Вып. 74. – С. 3–24.

**Жабин И. А., Абросимова А. А., Дубина В. А., Некрасов Д. А.** Влияние стока реки Амур на гидрологические условия Амурского лимана и Охотского моря // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 4. – С. 93–100.

**Жабин И. А., Дубина В. А., Некрасов Д. А., Дударев О. В.** Структурные особенности зоны смешения речных и морских вод вблизи устья реки Амур по данным спутниковых и гидрологических наблюдений // Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 5. – С. 61–70.

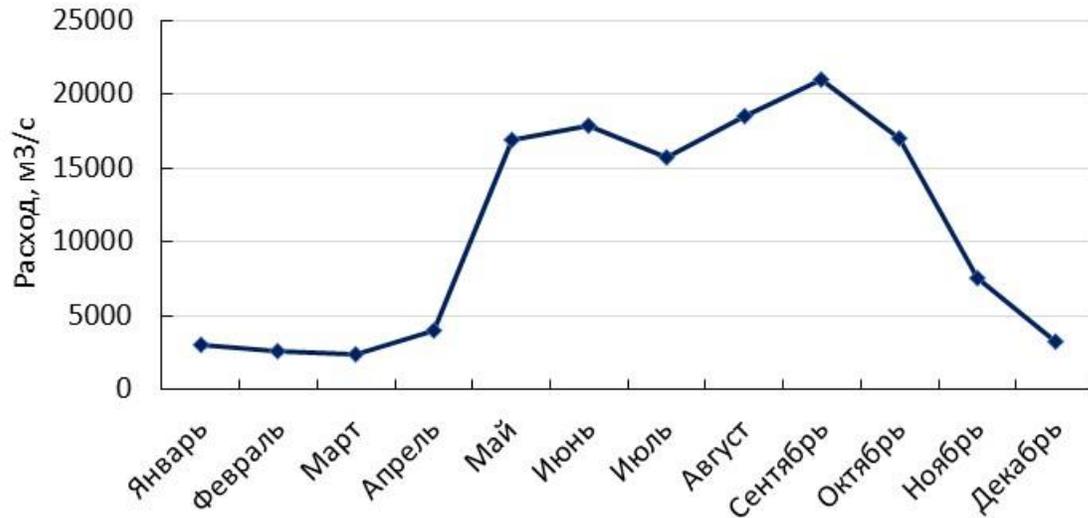
**Цхай Ж. Р., Шевченко Г. В., Частиков В. Н.** Аномальное распространение стока реки Амур в Охотском море в 2013 г. // Исследование Земли из космоса. – 2016. – № 3. – С. 84–88.



# Сезонная и межгодовая динамика стока реки Амур



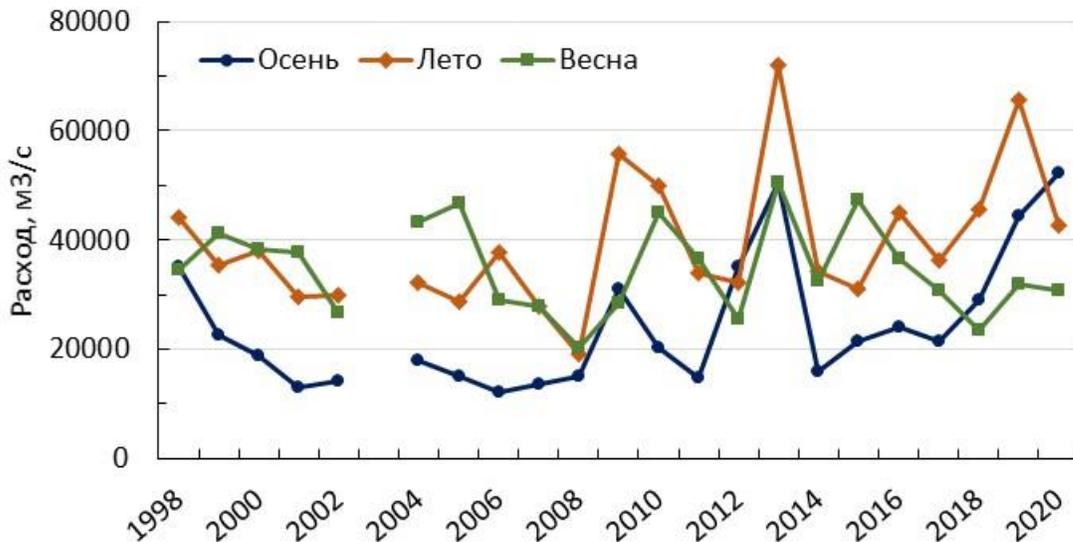
## Усредненная кривая годового хода расхода р. Амур



Внутригодовая динамика:

низкие значения с декабря по апрель (менее 5000 м<sup>3</sup>/с);  
высокие значения с мая (весеннее половодье)  
по октябрь (обильные осадки из-за циклонов),  
выраженные максимумы в июне и сентябре.

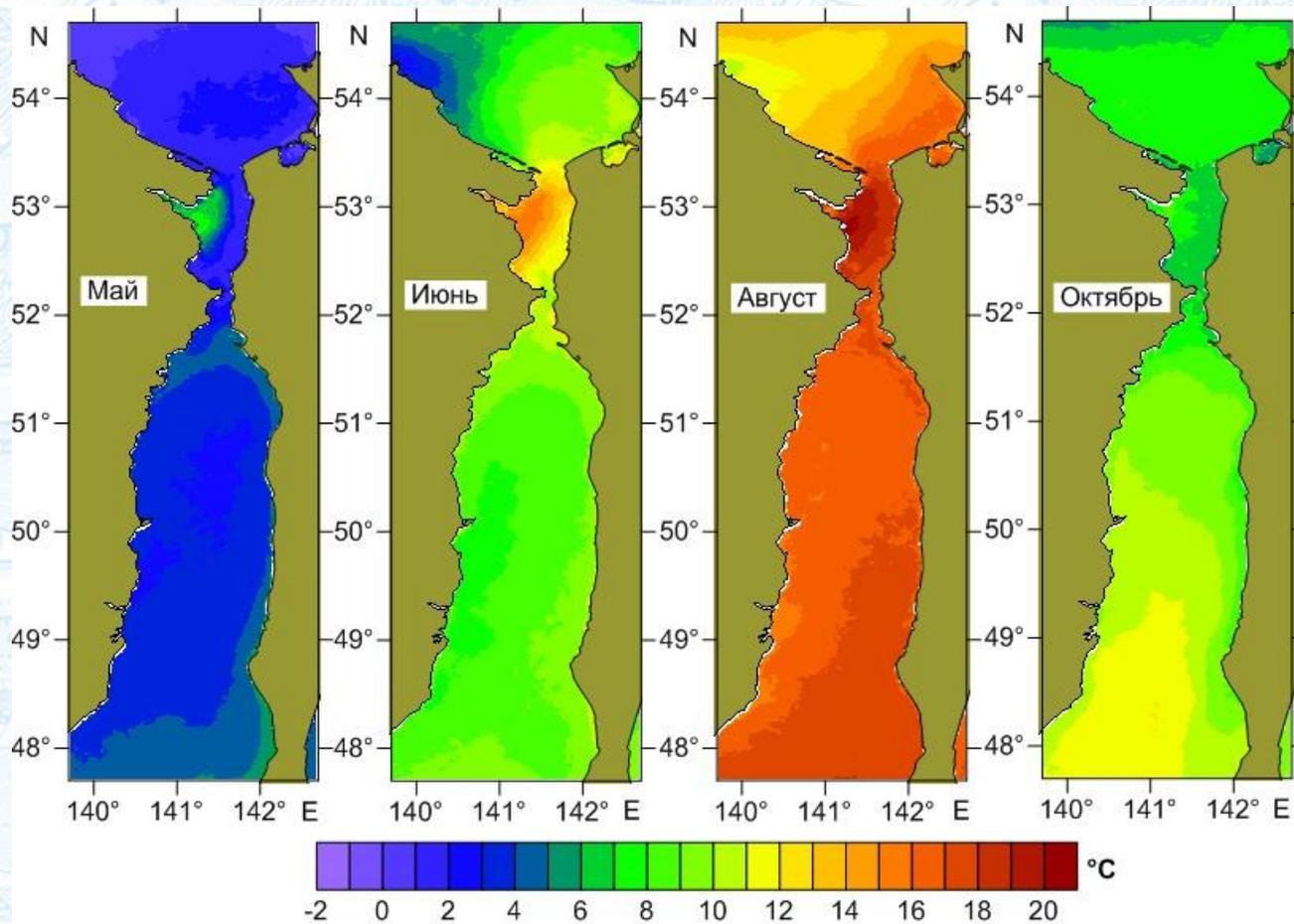
## Межгодовые вариации расхода р. Амур по сезонам



В 2009–2010 гг. в характере стока р. Амур произошли существенные изменения: слабо выраженная тенденция к уменьшению расхода с незначительными колебаниями изменилась на общий рост вне зависимости от сезона с интенсивными короткопериодными вариациями, особенно в летний период.

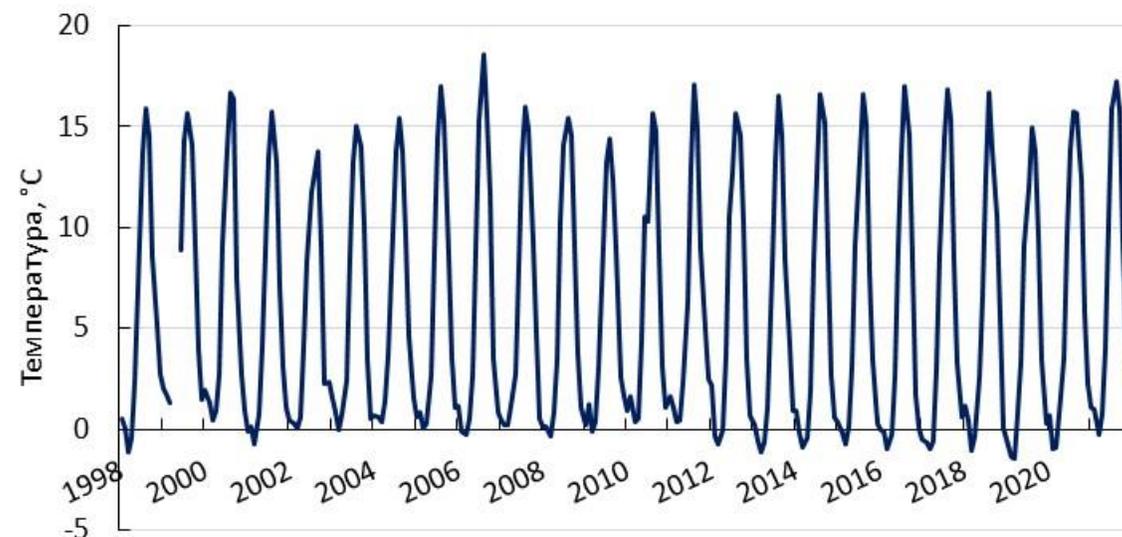
Годы экстремально высокого стока – 2009, 2013 и 2019 г.

# Распределения температуры поверхности моря по спутниковым данным



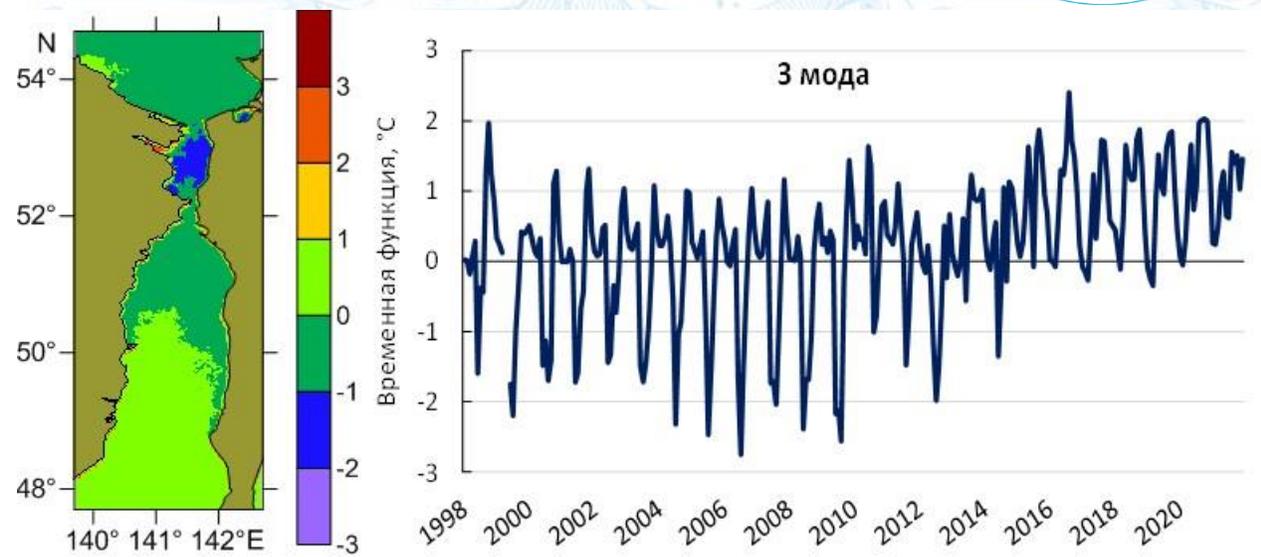
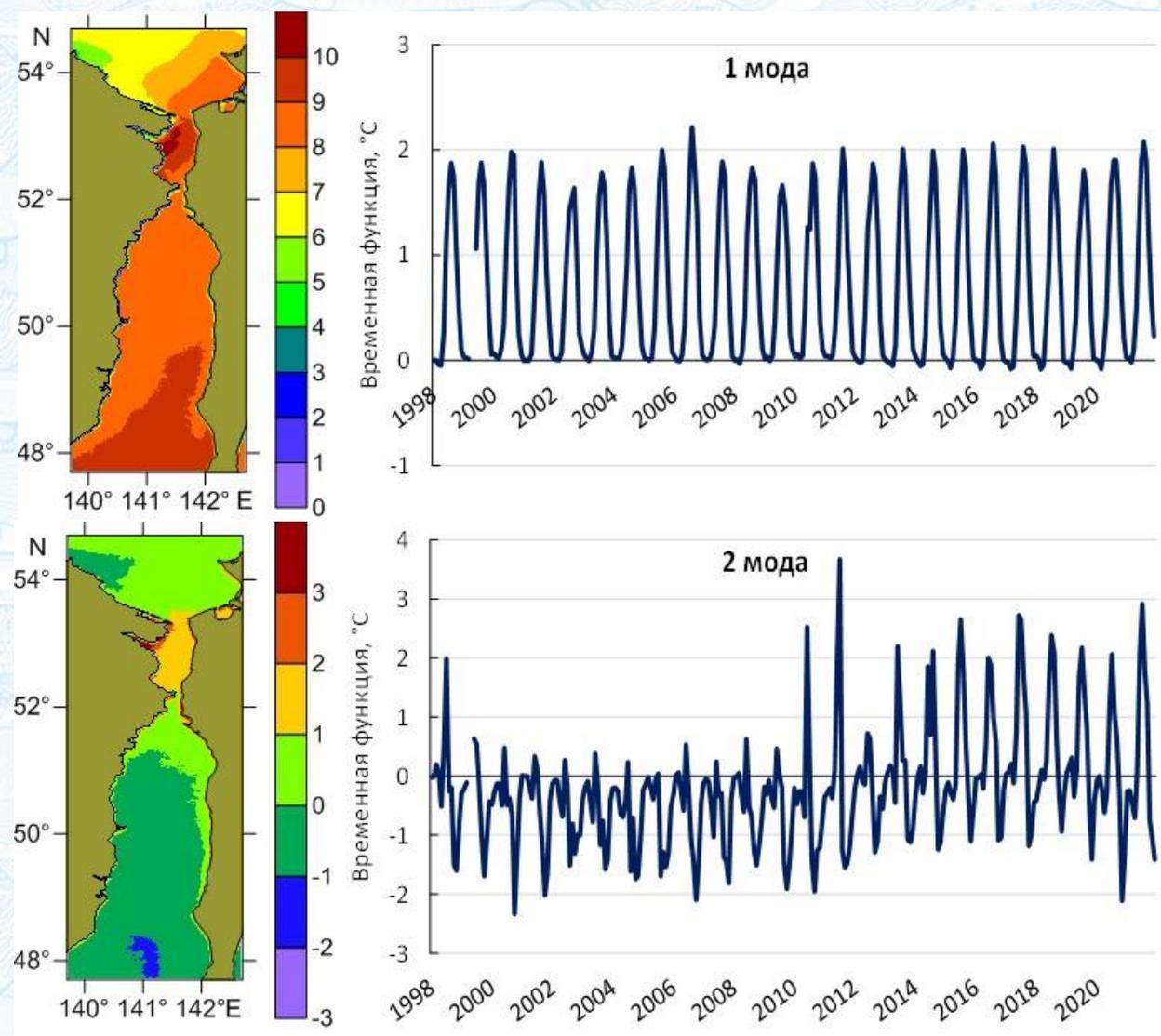
Весной и летом отмечается идентичная структура распределения ТПМ: в Сахалинском заливе четко прослеживается зона движения модифицированной воды стока Амура в северо-восточном направлении вдоль п-ова Шмидта. Осенью распределение становится однородным.

## Динамика среднемесячных значений ТПМ



Летний максимум – 18,6 °C (август 2006 г.),  
летний минимум – 12,7°C (август 2002 г.).  
С 2012 г. – усиление зимних минимумов.  
Усредненная кривая годового хода ТПМ:  
максимум в августе (16°C), минимум в марте (–0,4°C).  
Относительно низкое значение  $\sigma$  летом – ок. 1.  
Коэффициент корреляции ТПМ/расход Амура – 0,74.

# Результаты разложения поля ТПМ по ЕОФ: 1 мода – 96 %, 2 мода – 1,1 %, 3 мода – 0,7 %

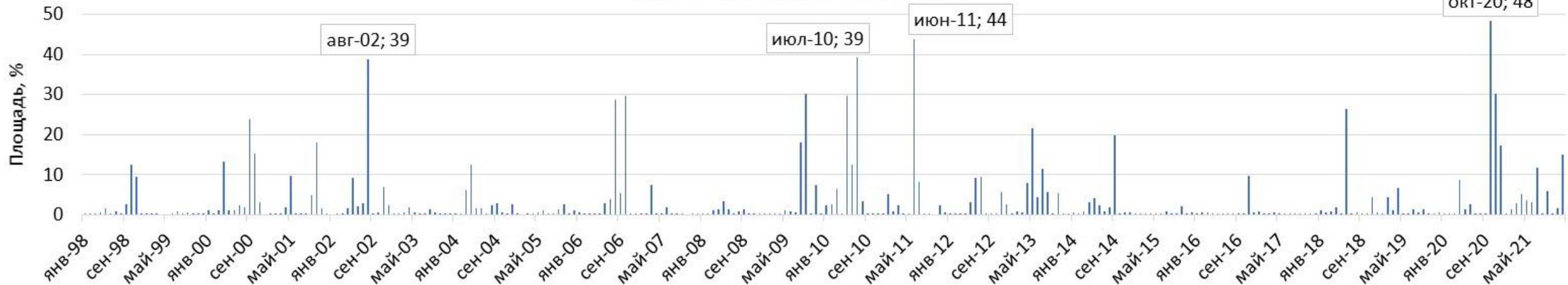
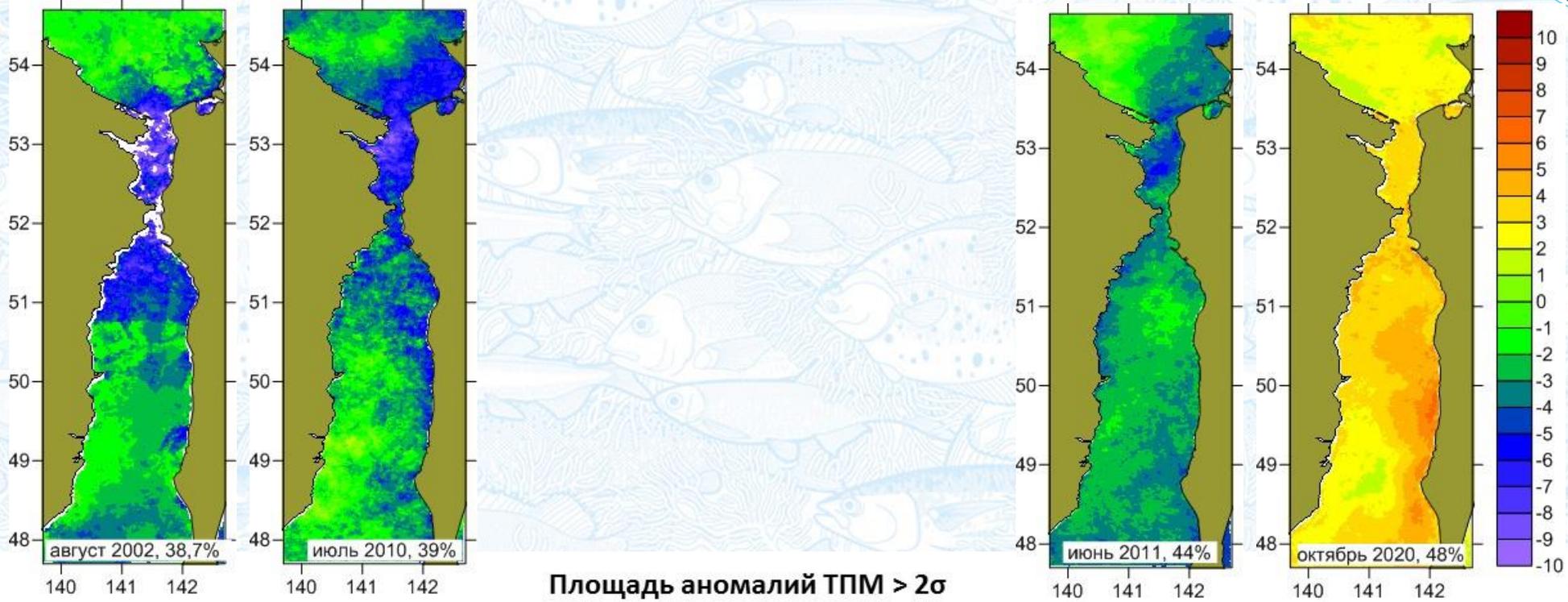


Изменения внутригодовой структуры второй и третьей мод в начале 2010-х годов на акватории Амурского лимана значимы и могут рассматриваться как климатический сдвиг

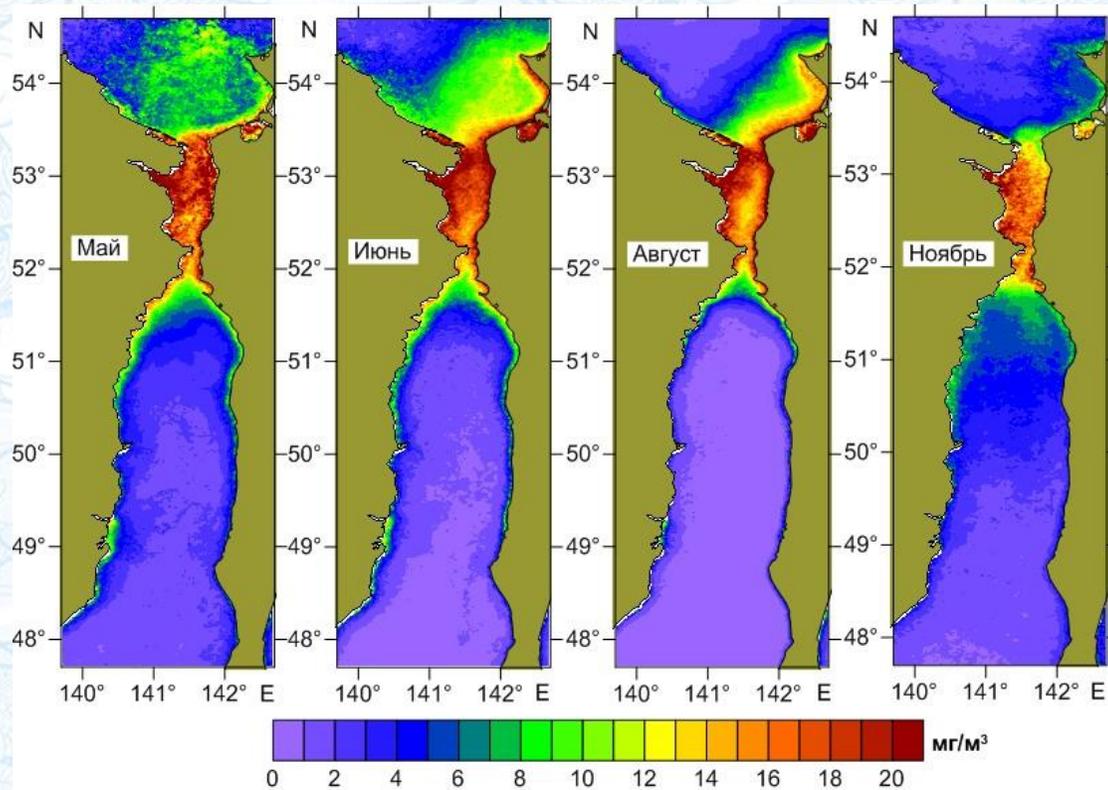
# Анализ наиболее значительных аномалий ТПО за 1998–2021 гг.



- оценка площади акваторий, в которых отмечались значимые отклонения от нормы
- выделение периодов и зон, в которых аномалии двукратно превышали величину ст. отклонения

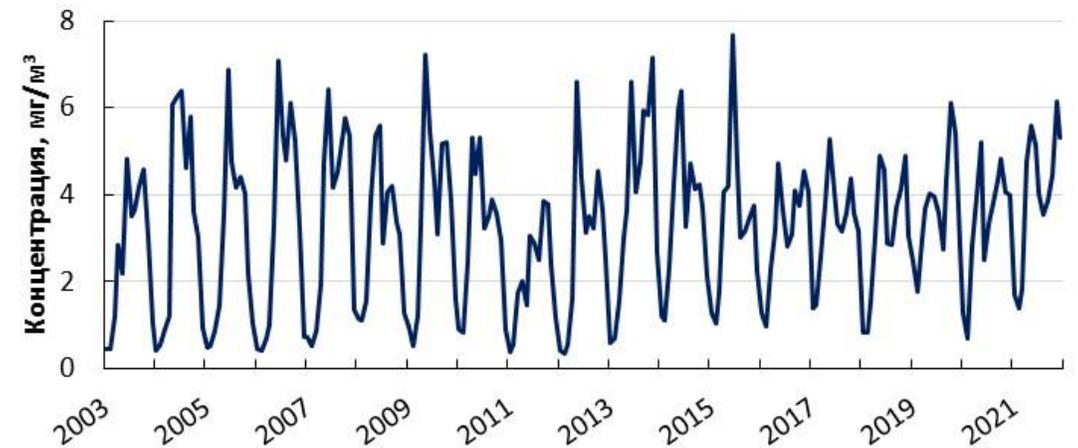


# Распределения концентрации хлорофилла *a* моря по спутниковым данным



Весна – увеличение концентрации пигмента в зонах таяния льда (Satoru et al., 2000; Шунтов, 2001; Матвеев, 2006);  
Лето – зоны активного фотосинтеза совпадают с районами распространения модифицированных вод;  
Осень – расширение зоны высоких концентраций в северной части Татарского пролива.

Динамика среднемесячной концентрации хлорофилла *a*



Весенний максимум – 7,7 мг/м<sup>3</sup> (июнь 2016 г.),  
весенний минимум – 3,1 (июнь 2011 г.).  
Смещение сроков осеннего увеличения на октябрь – ноябрь, увеличение концентрации пигмента зимой.  
Коэффициент корреляции концентрация Хл *a*/расход Амура – 0,66, коэффициент корреляции концентрация Хл *a*/ТПМ – 0,52.

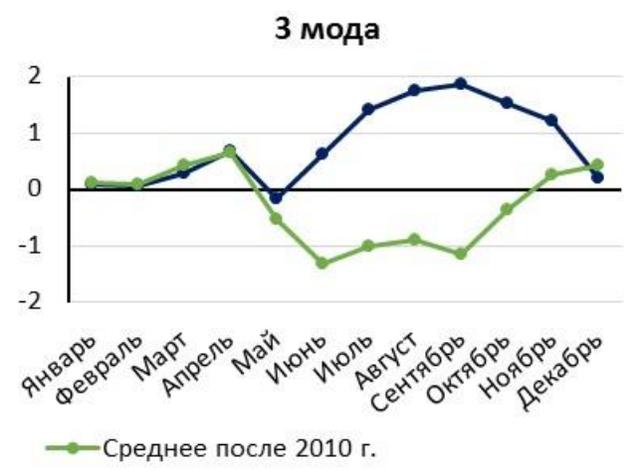
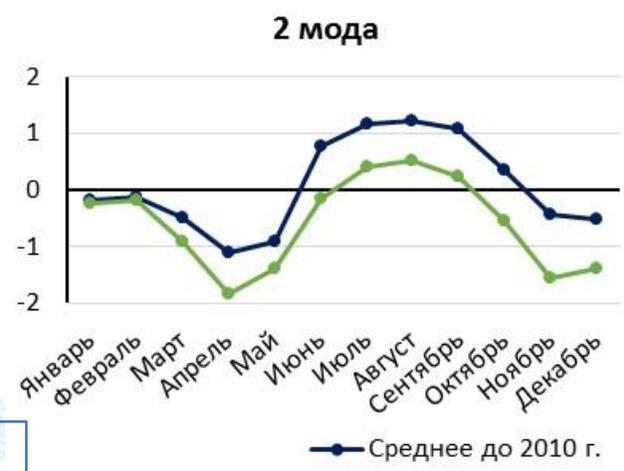
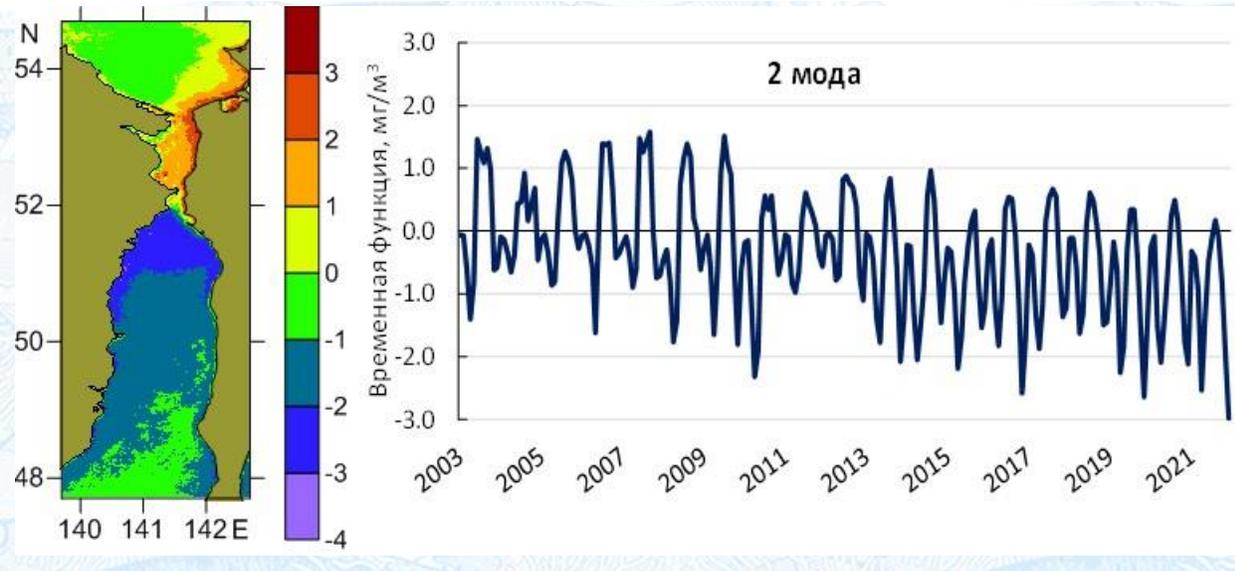
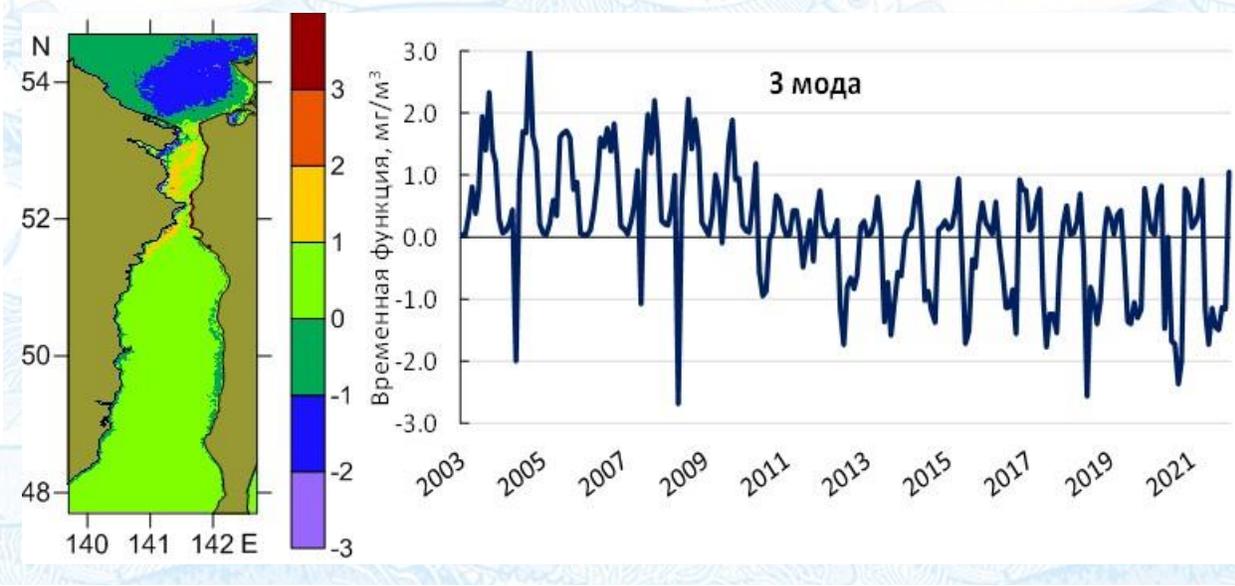
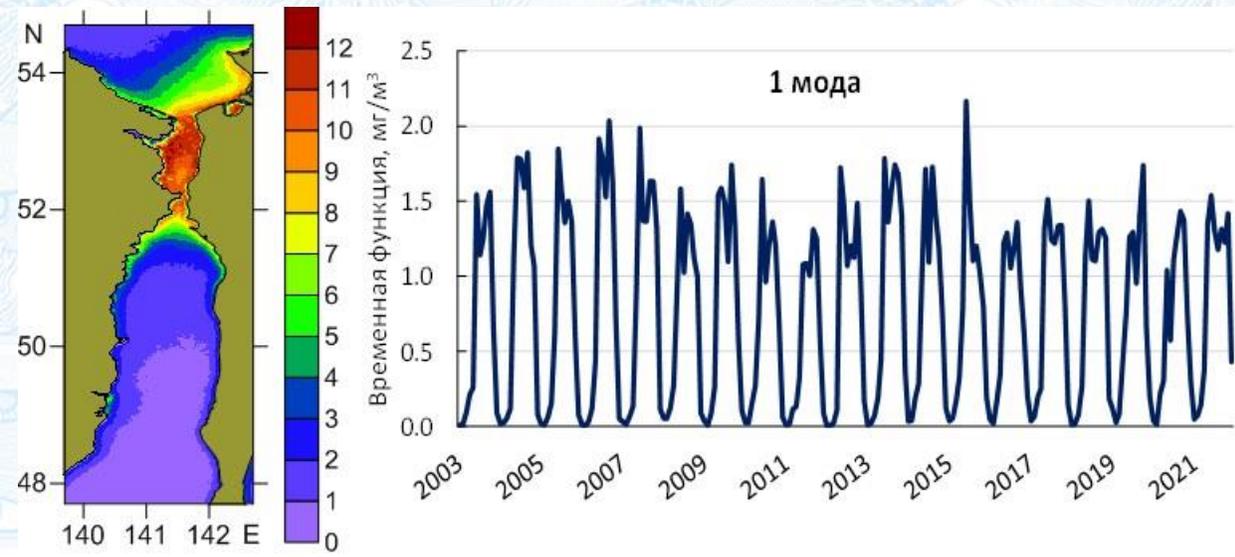
**Матвеев В. И.** Гидрохимические условия биологической продуктивности Охотского моря // Дис. ... канд. геогр. наук. – Владивосток, 2006. – 141 с.

**Шунтов В. П.** Биология дальневосточных морей России. Том 1. – Владивосток: ТИНРО-центр, 2001. – 580 с.

**Satoru T., Fumio S., Soshi H. et al.** Effect of ice algae community on the increase of chlorophyll *a* concentration during spring in coastal water of the Sea of Okhotsk // Polar Biosci. – 2000. – No 13. – P. 1–14.

# Результаты разложения поля концентрации хлорофилла *a* по ЕОФ:

1 мода – 61 %, 2 мода – 6,9 %, 3 мода – 2,8 %



Увеличение температуры воды в модифицированных водах привело к снижению концентрации хлорофилла *a*

# Заключение



- Регулярные спутниковые наблюдения позволяют уверенно идентифицировать модифицированные амурские воды в пространственно-временном масштабе по данным температуры поверхности моря и концентрации хлорофилла  $a$ . В зоне своего стока река Амур оказывает значительное влияние на термические условия и распределение фитопланктона в окружающих морских водах.
- С июня по сентябрь в Амурском лимане модифицированные амурские воды в наибольшей степени поступают в северо-западную часть, в меньшей – на юго-восточный участок. В Сахалинском заливе более теплая вода распределяется вдоль юго-восточного и восточного побережий, самая холодная отмечается в северо-западной части. Активизация стока р. Амур в южном направлении происходит осенью. В ноябре, когда наблюдается наиболее масштабное проникновение распресненной воды в северную часть Татарского пролива, она уже выхоложена и слабо выделяется на пространственных распределениях ТПМ, но в то же время отчетливо проявляется по концентрации хлорофилла  $a$ .
- Разложение поля ТПМ по ЕОФ выявило климатический сдвиг, выраженный во временных функциях второй и третьей мод, показывающий изменения термических условий, начиная с 2010 г., а именно, существенное повышение температуры в зоне модифицированных вод, обусловленное увеличением расхода р. Амур. Одним из возможных последствий этого стало уменьшение содержания хлорофилла  $a$  в районах распространения амурского стока, что также нашло свое отражение в ходе анализа данных с помощью метода ЕОФ.



**Авторы работы выражают искреннюю признательность ведущему научному сотруднику отдела воспроизводства лососевых рыб ФГБНУ «ВНИРО» Сергею Львовичу Горину за предоставленную информацию о величине расхода реки Амур**