

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.

Океанографические условия залива Петра Великого по данным экспедиционных наблюдений в 2021-2022 гг.

Данченков М.А.

Отдел океанографии и гидрометеорологии ФГБУ «ДВНИГМИ»

Мониторинговые съемки НИС ДВНИГМИ отслеживали состояние вод не всего залива. По определению последней отечественной Лоции (1996), граница залива проходит по прямой от устья р. Туманной ($130,68^\circ$ в.д.) на западе до м. Поворотного ($133,03^\circ$ в.д.) на востоке (рис. 1).

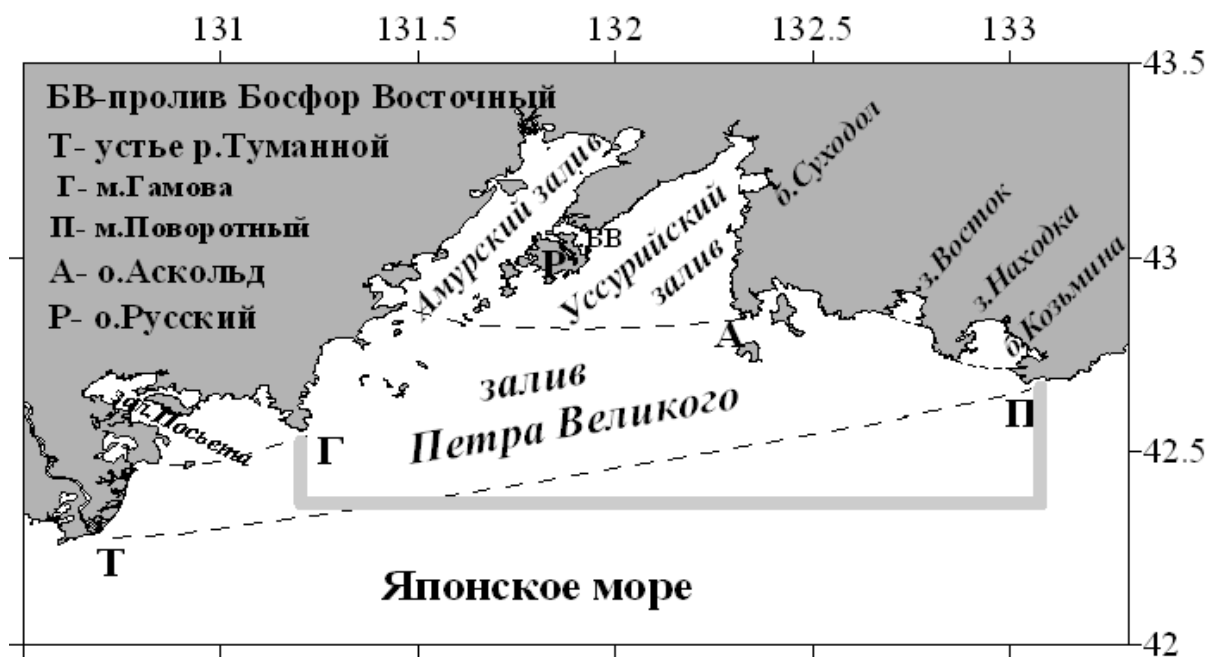


Рис. 1. Границы заливов Петра Великого, Амурского и Уссурийского. Серой линией обозначены границы области синоптических съёмок НИС ДВНИГМИ

Область мониторинга залива Петра Великого (ЗПВ) судами ДВНИГМИ не включает юго-западную его часть, а именно: приустьевой участок р. Туманной, зал. Посьета и воды большей части Дальневосточного государственного морского заповедника. Также не проводятся измерения в бухте Золотой Рог и в проливе Босфор Восточный. Нужно заметить, что измерения на станциях ОГСН в бухте Золотой Рог являются точечными, то есть совершенно не отражающие состояние вод довольно обширной акватории.

Также следует отметить, что в период с 2001 по 2022 г. на НИС ДВНИГМИ выполняются летние съёмки ЗПВ по одной сети станций (2001, 2007–2011, 2013–2022 гг., рис. 2). При этом, из них только 12 последних съёмки (включая съёмку августа 2022 г.) являются ежегодными, без перерывов. Таким образом, полученная часть данных является

фрагментарной, что сказывается на общей картине распределения основных океанографических параметров.

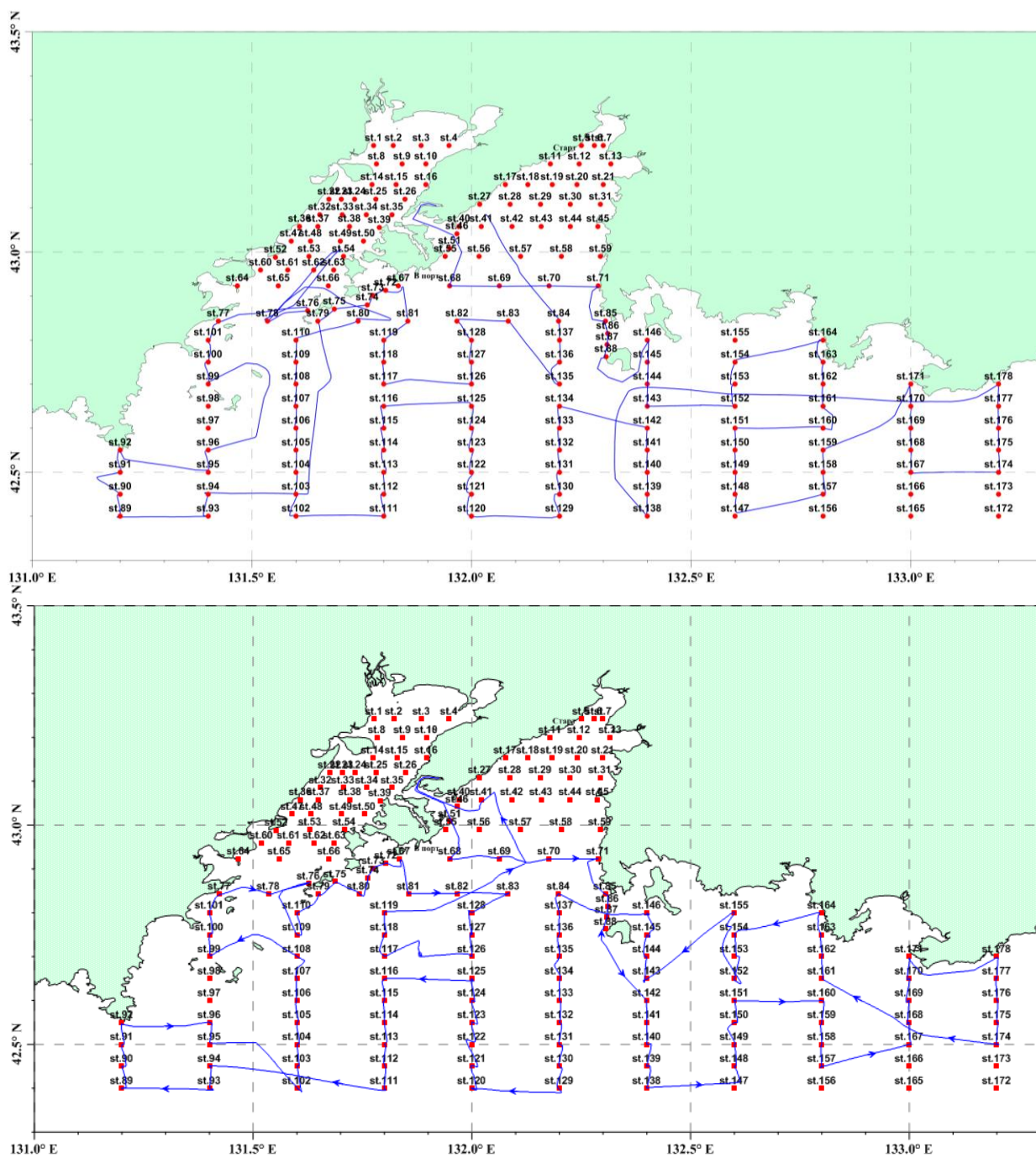


Рис. 2. Схема района работ НИС «Профессор Мультановский» и ИС «Атлас» в зал. Петра Великого в мае (вверху) и в августе (внизу) 2022 г.

1. Состояние вод ЗПВ летом 2021 г.

Лето 2021 г. в заливе было экстремально теплым, хотя ему предшествовала обычная весна. Толщу вод залива по сочетанию значений температуры и солёности (рис. 3) можно разделить на три основных слоя: поверхностный, промежуточный и придонный. Промежуточный слой содержит собственную воду ЗПВ. Ее характерными индексами являются диапазон температуры 17–22°C, и солёности 33,4-33,8 PSU.

Распределение температуры и солёности по горизонтам в августе 2021 г. приведено на рис. 4–6.

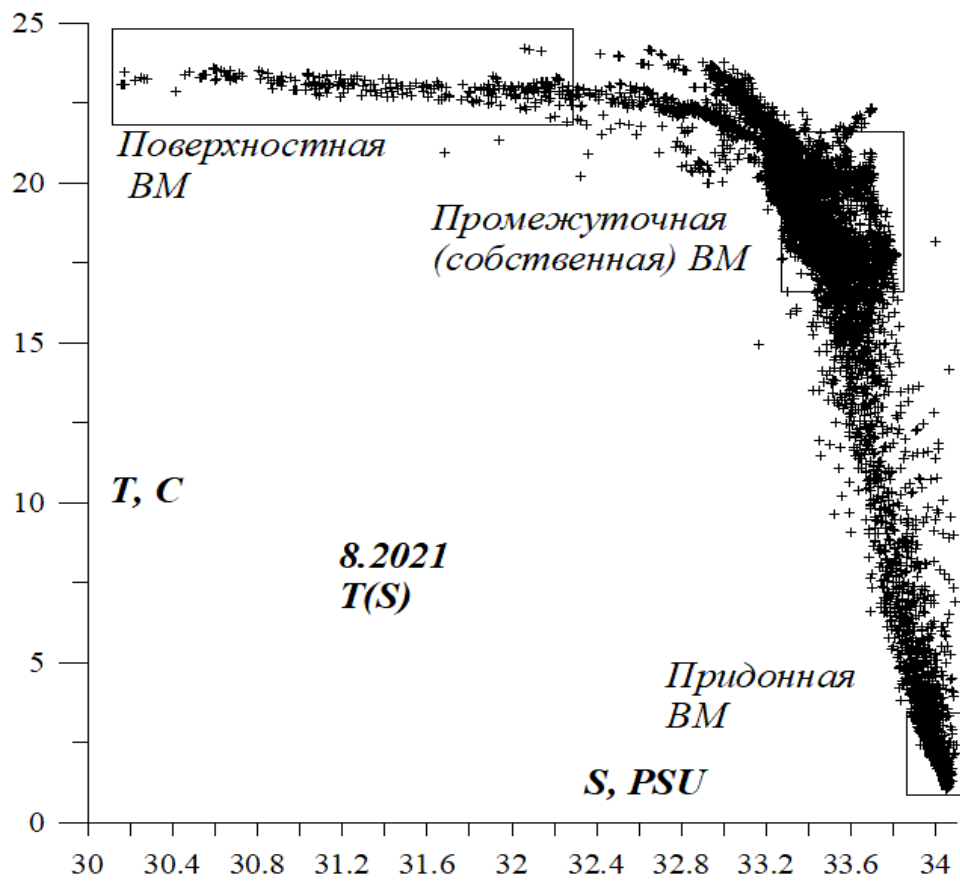


Рис. 3. Водные массы ЗПВ летом 2021 г.

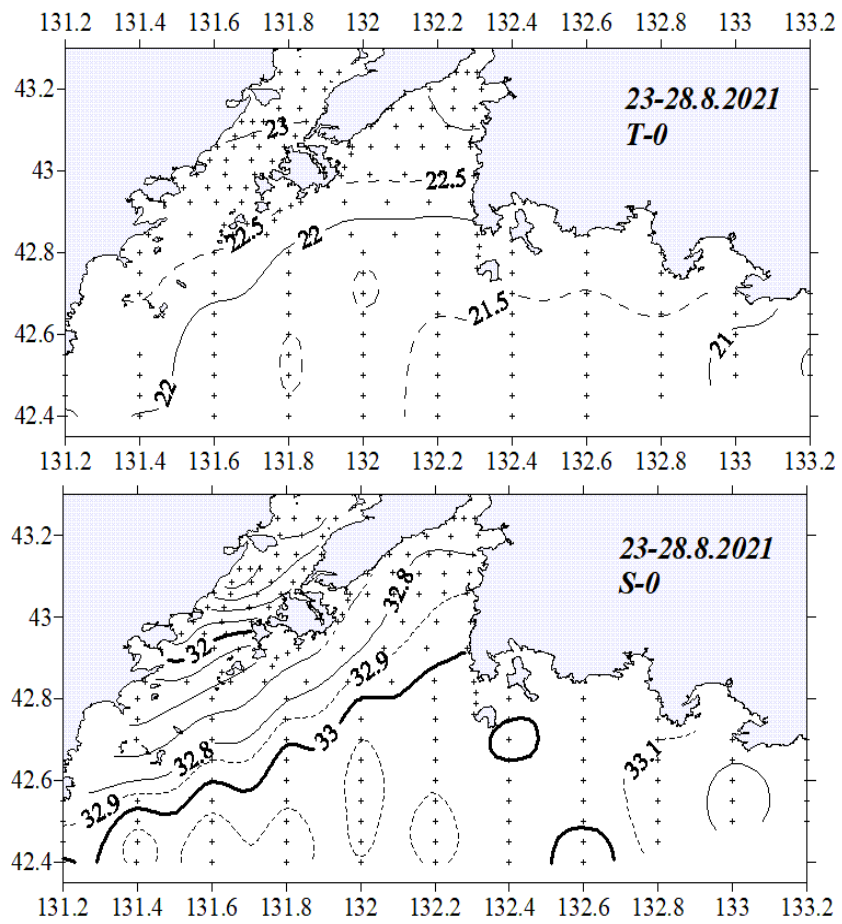


Рис. 4. Температура ($T-0$) и соленость ($S-0$) поверхностных вод в августе 2021 г.

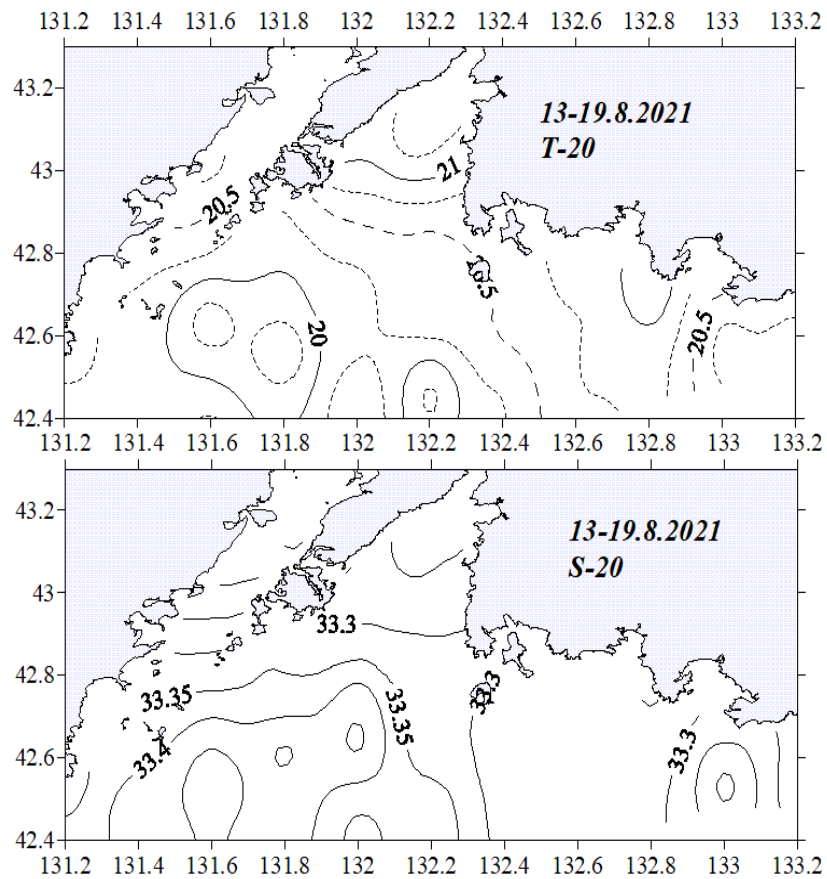


Рис. 5. Температура ($T-20$) и соленость ($S-20$) вод ЗПВ на горизонте 20 м

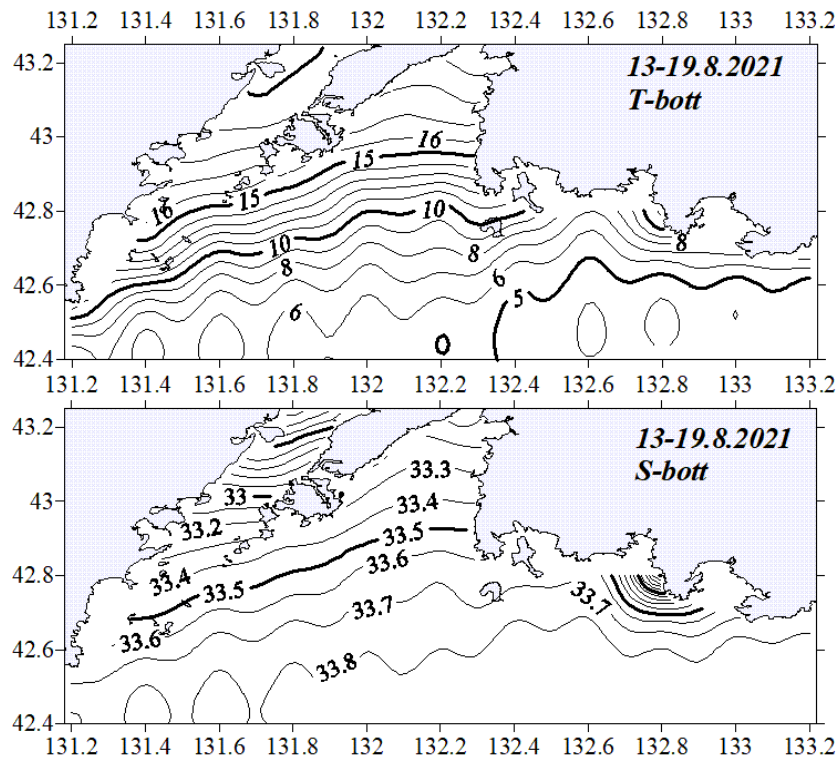


Рис. 6. Температура (*T-bott*) и соленость (*S-bott*) придонных вод ЗПВ

Как видно, распределение параметров на горизонтах было сглаженным, без особенностей. Но характеристики вод в придонном слое летом 2021 г. были особенными. Придонный термический фронт (10–16°C) в придонном слое проходил на юге заливов (между 42,8 и 42,9°с.ш.), а основной соленостный фронт – в северной части Амурского залива. В верхнем 50 м слое вода была экстремально теплой. Но если рассматривать температуру слоя ниже 50 м, то экстремально теплым (показатель субтропических вод) остается лето 2019 г. Более того, на самых нижних горизонтах (80–100 м) температура воды летом 2021 г. была экстремально низкой. Это означает, что на юге ЗПВ (на границе шельфа) находились воды иного происхождения, чем воды верхнего 50 м слоя.

Разной по происхождению была и соленость в экстремально теплые годы – в 2019 г. и в 2021 г. Высокая соленость является показателем вод субтропического происхождения. По величине солености выделились годы, когда соленость была высокой (показатель субтропических вод): в 2021 г. (в верхних и нижних 20 м) и в 2016–2018 гг.

Низкая соленость – показатель вод Приморского течения, принесенных в залив. При этом наиболее низкие (экстремально низкие по всей толще) значения солености отмечались только в 2019 г. Последний факт интересен тем, что в 2019 г. воды залива были одновременно и экстремально теплыми. Таким образом, эти теплые воды в 2019 г. имели происхождение иное, чем у вод ЗПВ в 2021 г.: они не были субтропическими. Соленость летних вод 2021 г. была высокой в верхнем 20 м слое, а в 2016–2018 гг. – во всей толще. Лето 2019 г. напротив, было необычным именно потому, что соленость вод

этим летом была низкой во всем слое, поэтому объяснение данного факта необычным речным стоком в 2019 г. вряд ли является верным. Необычными были и придонные течения в августе 2021 г. (рис. 7).

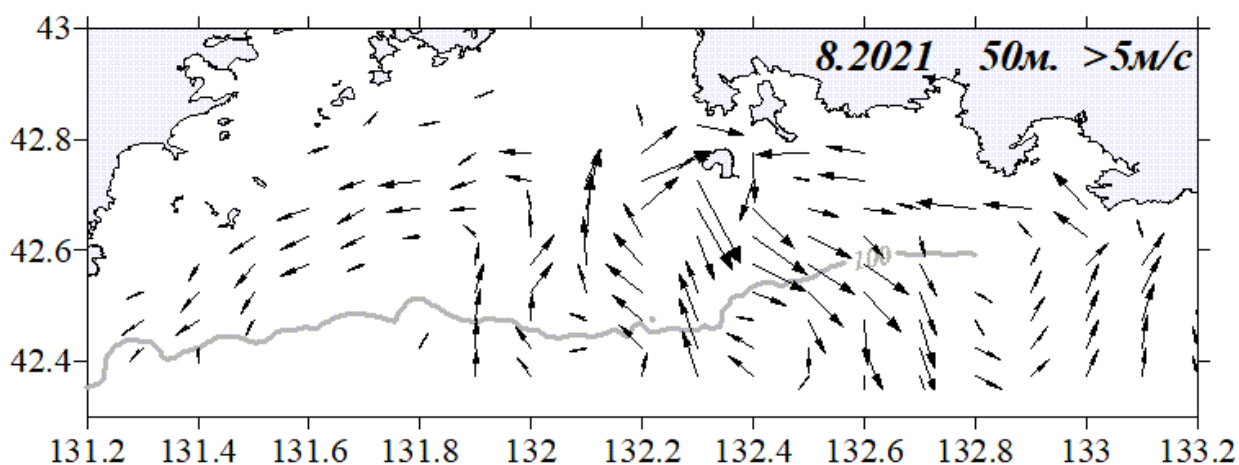


Рис. 7. Течения в ЗПВ в августе 2021 г. на горизонте 50 м

Типичной является следующая схема. Приморское течение проходит вне ЗПВ. Севернее Приморского течения расположен антициклонический круговорот. Но в некоторые годы схема интегральной циркуляции – особая, при которой Приморское течение отсутствует. Таким явился и 2021 год.

Таким образом, океанографические условия ЗПВ летом 2021 г. характеризовались следующими чертами:

- значения солености вод верхнего 45 м слоя были особенными – более высокими, чем в экстремально теплом августе 2019 г.;
- особой, отличной от ранее известных, была и схема обобщенной по вертикали циркуляции вод. При этом в пределах ЗПВ не было отмечено признаков присутствия холодного Приморского течения, которое является характерной особенностью всех известных схем течений ЗПВ.

2. Состояние вод ЗПВ весной 2022 г.

В мае продолжался переход от слабо стратифицированной зимней структуры к летней с большими вертикальными градиентами температуры и солености. По вертикали воды залива можно разделить на поверхностный, промежуточный и придонный слой (рис. 8, табл. 1). Судя по индексам промежуточной водной массы (ВМ), собственной ВМ залива, весна 2022 г. была теплой. Поверхностный термоклин (3–8°C), отсутствовавший зимой, в конце мая уже стал мощным (рис. 9). Он препятствует обмену тепла между прогретыми поверхностными водами и холодными промежуточными. Его разрушение произойдет уже в конце августа.

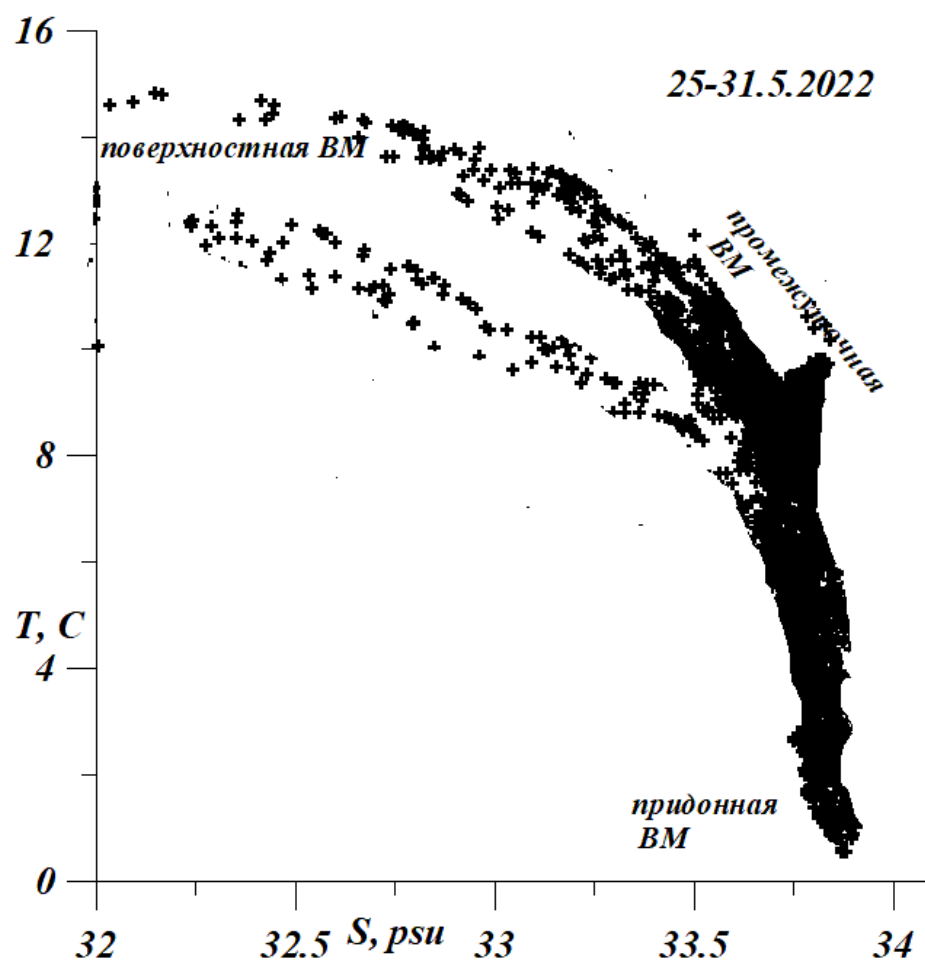


Рис. 8. Водные массы залива Петра Великого весной 2022 г.

Табл. 1. Температура и соленость водных масс (ВМ) ЗПВ весной разных лет

Съемка, г. / ВМ	Поверхностная		Основная		Придонная	
	Т°С	S, ‰	Т°С	S, ‰	Т°С	S, ‰
05-19.05.2013	6,0	32,5	5,0	33,8	1,0	33,8
05-09.05.2014	9,0	32,5	6,0	33,8	0,0	33,8
15-18.05.2015	8,0	32,4	6,0	33,4	1,0	33,7
05-09.05.2016	8,0	32,5	5,0	33,5	1,2	33,7
05- 8.05.2018	5,0	33,0	4,0	33,7	1,0	33,9
22-26.05.2019	12,0	32,4	10,0	34,0	0,0	34,02
14-19.05.2021	8,0	32,4	7,0	33,8	1,0	34,0
25-31.05.2022	12,0	32,4	9,0	33,8	1,0	33,85
Среднее	8,0	32,4	6,5	33,8	1,0	33,85

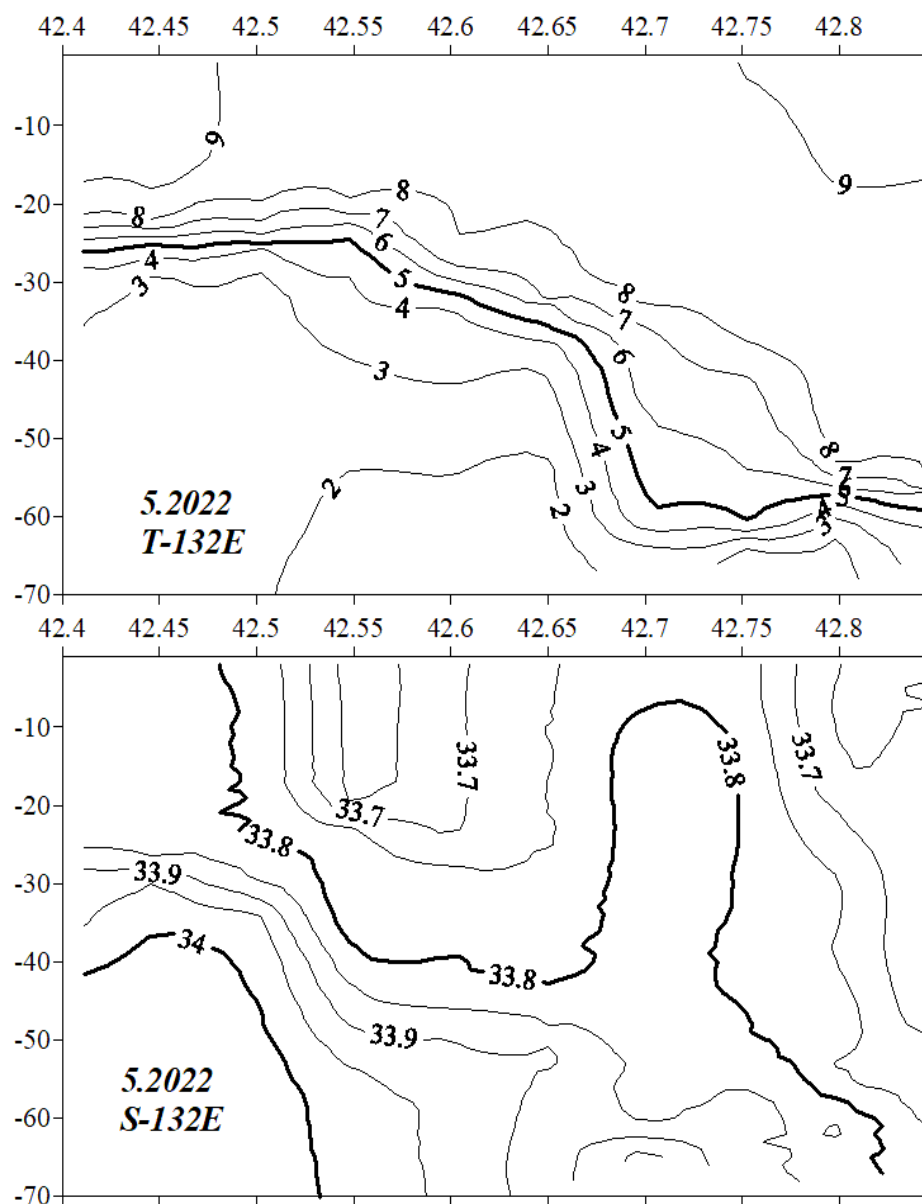


Рис. 9. Распределение температуры (T) и солености (S) вод ЗПВ в мае 2022 г. на разрезе по 132° В.д.

Отличительной особенностью горизонтальной структуры вод весной 2022 г. был пояс холодных вод между $42,6^{\circ}$ с.ш. и $42,8^{\circ}$ с.ш. (рис. 10). Соленость этих холодных вод (32,6–32,8 PSU) соответствует климатическим значениям промежуточных (собственных) вод залива. Ограничивающие этот пояс термический и соленостный фронты располагались севернее обычного положения — вдоль $43,1^{\circ}$ с.ш.

Нужно отметить, что пояс холодной воды низкой солености сохраняется по всей вертикали (рис. 11, 12). Этот пояс характеризуется следующими значениями: температура воды — $8\text{--}9^{\circ}\text{C}$, а соленость — $33,6\text{--}3,8$ PSU. Этот пояс, как будет ясно из схемы течений, является водами Приморского течения. Таким образом, впервые мы определили характерные значения температуры и солености вод, переносимых Приморским течением весной.

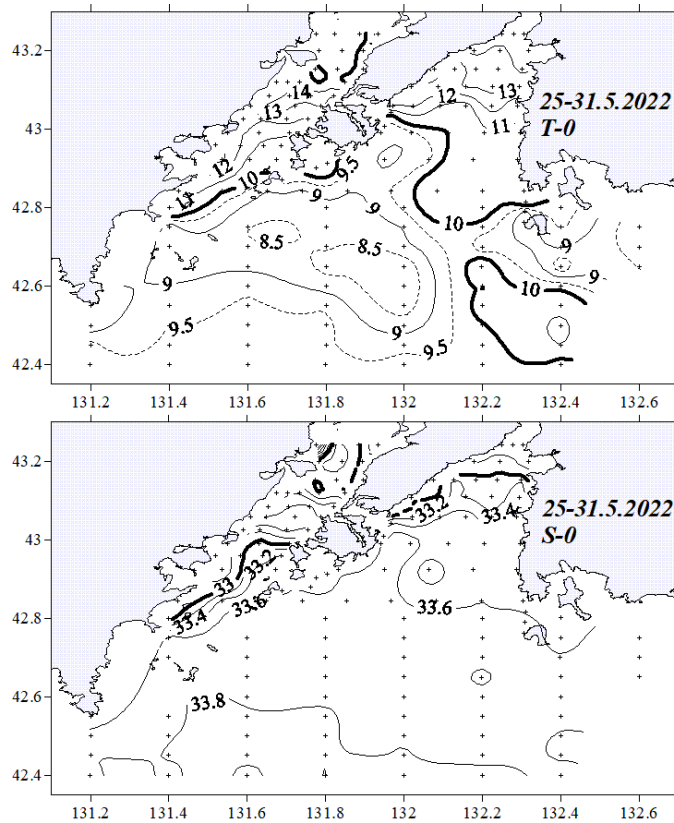


Рис. 10. Распределение температуры ($T-0$) и солёности ($S-0$) вод на поверхности в мае 2022 г.

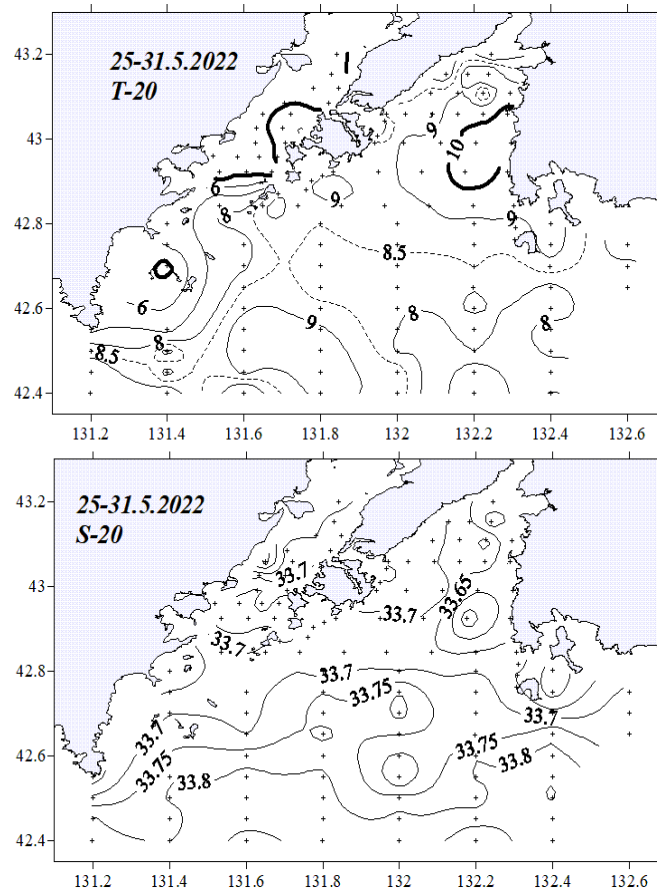


Рис. 11. Температура ($T-20$) и солёность ($S-20$) вод на горизонте 20 м в мае 2022 г.

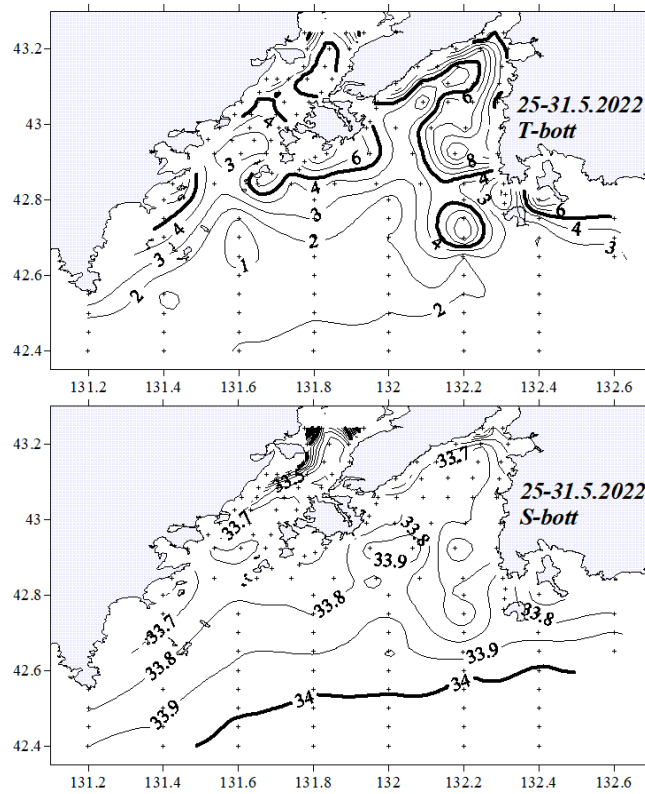


Рис. 12. Распределение температуры (*T-bott*) и солёности (*S-bott*) у дна

Интегральные (суммированные по всей толще) течения ЗПВ можно представить по распределению уровня поверхности моря (рис. 13). Течения направлены так, чтобы при этом большая величина уровня оставалась бы справа.

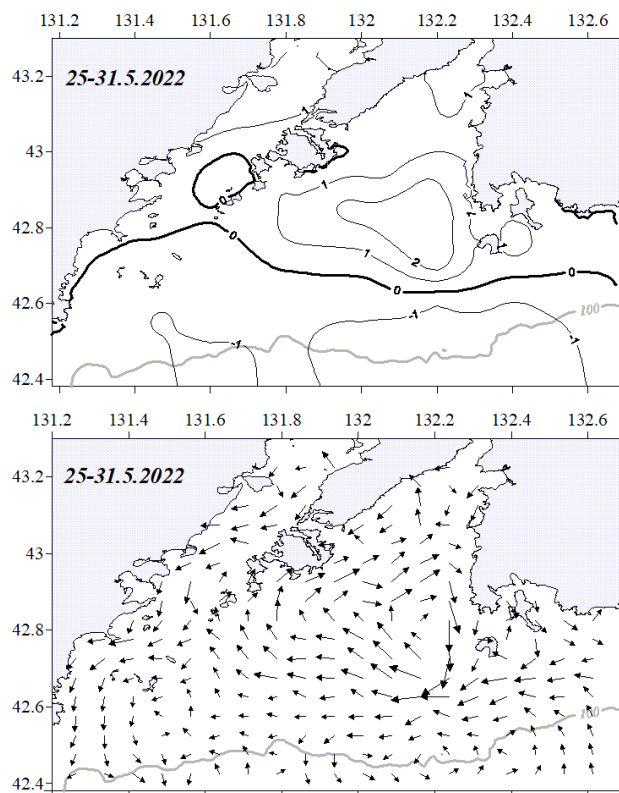


Рис. 13. Уровень (м, сверху) и поверхностные течения (внизу) весной 2022 г.

Особенностью векторного поля течения является антициклон с центром в точке с координатами 42,8°с.ш. и 132,2°в.д. (рис. 13, внизу). Наиболее заметен антициклон на глубинах более 20 м на разрезах вдоль 132,2° в.д. и вдоль 42,85°с.ш. (рис. 14).

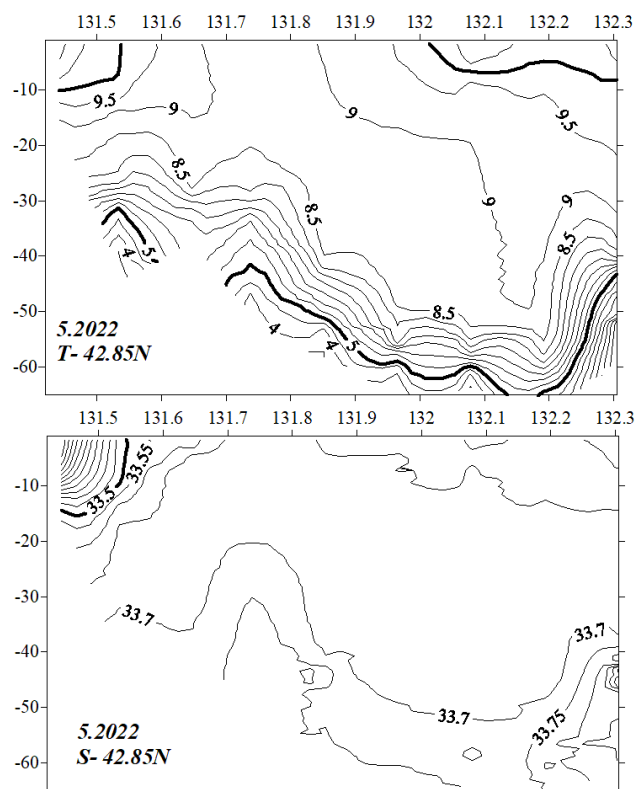


Рис. 14. Температура (T) и соленость (S) на разрезе вдоль 42,85°с.ш.

Звеньями антициклона являются Приморское течение и Уссурийское противотечение (поток северо-восточного направления вдоль западной части одноименного залива). В Амурском заливе выделялось только Амурское течение без признаков какого-либо противотечения.

3. Межгодовая изменчивость характеристик вод ЗПВ в мае разных лет

Наиболее интересно сопоставить соответствующие экстремальные значения температуры и солености вод на горизонтах в разные годы (табл. 2, 3). До 2022 г. экстремально высоким значениям температуры весной соответствовали высокие значения солености. И это логично: высокая температура соответствует только водам субтропического происхождения (трансформированным). А у них и соленость — высокая. Из табл. 2 следует, что весна 2022 г. являлась самой теплой за все время наблюдений.

Положительная аномалия температуры воды во всем слое превышала норму на рекордные 2°С (от 0,7°С до 3,7°С на разных горизонтах). Такое потепление было значительнее, чем весной 2019 г. (экстремальный год до мая 2022 г.). Особенно заметны эти экстремальные значения на горизонтах ниже термоклина.

Табл. 2. Температура воды (°C) в ЗПВ в мае разных лет

Горизонт, м /год	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2021	2022	Ср.
1	6,1	7,1	7,3	6,2	4,6	11,3	8,7	11,0	7,3
10	4,5	6,2	6,3	5,0	3,4	9,0	7,0	9,3	5,8
20	3,6	4,5	5,4	4,2	2,7	6,5	5,3	7,9	4,6
30	3,3	2,4	4,3	3,2	2,0	3,6	3,9	6,1	3,3
40	3,2	1,3	3,1	2,6	1,2	1,9	2,7	4,6	2,4
50	3,2	1,0	2,4	2,0	0,8	1,4	1,7	3,4	1,9
60	3,0	0,8	2,0	1,8	0,8	1,1	1,2	2,6	1,6
70	3,0	1,0	1,9	1,6	1,2	1,1	1,0	2,3	1,6
Ср.	3,7	3,0	4,1	3,3	2,1	4,5	3,9	5,9	3,8

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения в экстремальные годы.

Табл. 3. Средняя соленость воды (PSU) в ЗПВ весной разных лет

Горизонт, м /год	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2021	2022	Ср.
1	<i>31,95</i>	33,44	32,55	<i>31,49</i>	32,78	33,35	32,44	32,95	32,66
10	33,40	33,70	<i>33,13</i>	<i>33,20</i>	33,58	33,92	33,43	33,54	33,52
20	33,75	33,85	<i>33,40</i>	<i>33,44</i>	33,72	34,03	33,74	33,71	33,72
30	33,81	33,87	<i>33,49</i>	<i>33,54</i>	33,78	34,06	33,82	33,78	33,78
40	33,83	33,89	<i>33,57</i>	<i>33,61</i>	33,83	34,06	33,88	33,82	33,82
50	33,85	33,90	<i>33,63</i>	<i>33,66</i>	33,86	34,05	33,92	33,87	33,85
60	33,87	33,92	<i>33,69</i>	<i>33,77</i>	33,88	34,05	33,95	33,90	33,88
70	33,89	33,94	<i>33,75</i>	<i>33,77</i>	33,89	34,05	33,97	33,95	33,91
Ср.	33,54	33,81	<i>33,40</i>	<i>33,31</i>	33,67	33,95	33,64	33,69	33,63

Примечание. Жирным шрифтом и курсивом выделены значения в экстремальные годы.

Однако в отличие от 2019 г. значения солености (во всем слое) таким экстремальным значениям температуры не соответствуют. Величина солености вод ЗПВ весной 2022 г. (33,7–33,9 PSU на 0,1–0,2 PSU ниже ожидавшихся) на всех горизонтах была близка к среднемноголетним значениям. Такое явление в ЗПВ не встречалось за все годы наблюдений. И причина несоответствия пока неясна. Необычный случай сочетания высокой температуры и низкой солености вод ЗПВ требует специального исследования.

4. Предварительные результаты состояния вод залива летом 2022 г.

Если судить по полученным данным, август 2022 г. так же, как и май, был аномальным. Только его аномалия была иной. Весенние воды были экстремально теплыми при нормальной солености. А летние воды были аномально холодными при высокой солености (во всем слое). Соленость вод ЗПВ летом составляла 33,9–34,06 PSU, а температура была ниже нормы на 3–5°C. Соответственно, необычными были

горизонтальные поля температуры, солености и течений (рис. 15–17). Средняя температура поверхностных вод была холоднее нормы на 1°C (и холоднее прошлогодней на $1,6^{\circ}\text{C}$). В промежуточном слое (на горизонтах 30–50 м) разница с температурой прошлого года составляла максимальные $12\text{--}13^{\circ}\text{C}$. И лишь у дна (до $2\text{--}6^{\circ}\text{C}$) отличия немного уменьшились.

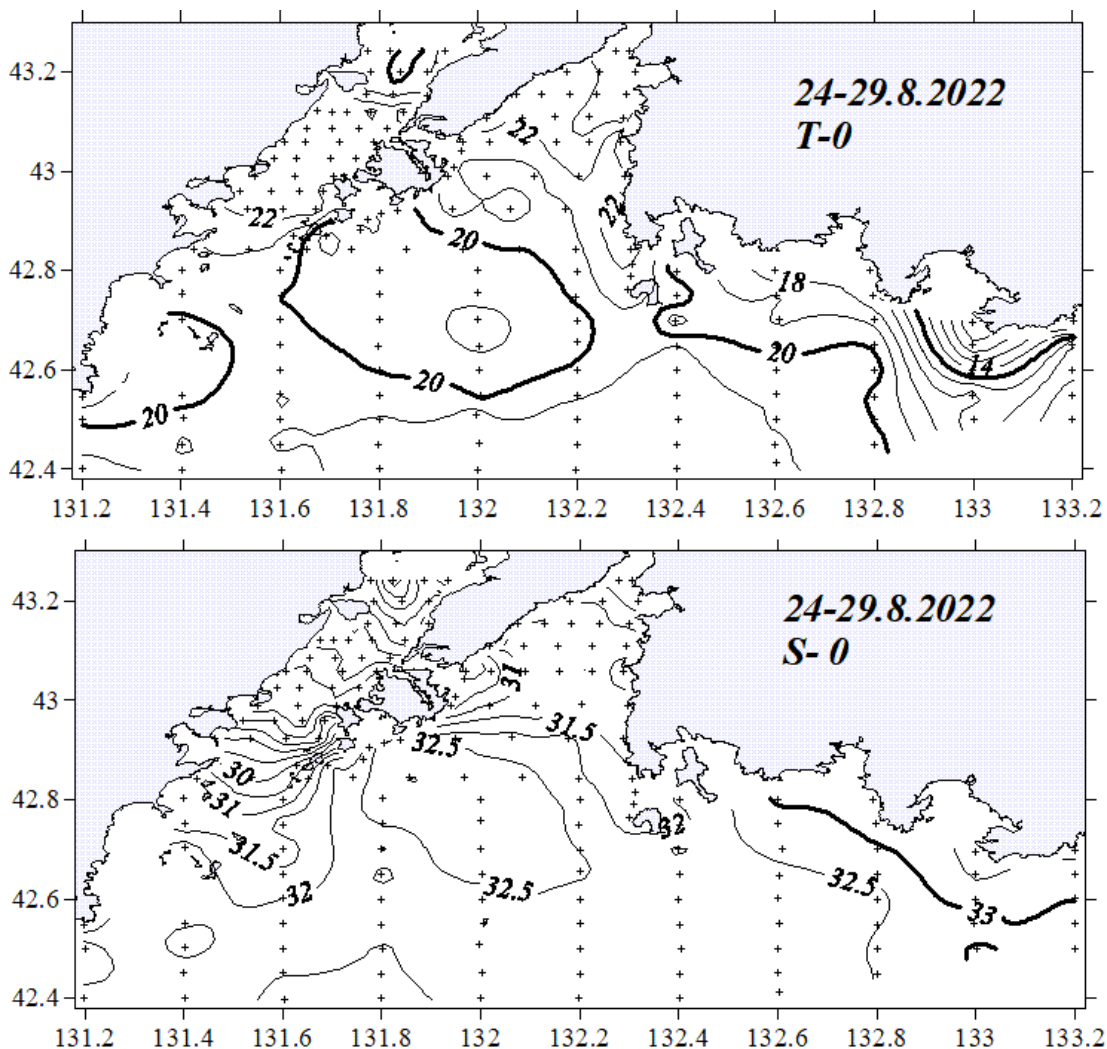


Рис. 15. Температура ($T-0$) и соленость ($S-0$) поверхностных вод ЗПВ в августе 2022 г.

Термический фронт в промежуточном слое имел два мощных раздела (рис. 16). Большую часть Уссурийского залива занимали очень холодные воды относительно невысокой солености (менее $33,6\text{ PSU}$). Но ниже 30 м и до дна располагались холодные воды высокой солености – более 34 PSU (рис. 17). Такая горизонтальная структура вод необычна для лета, она характерна только для ранней весны.

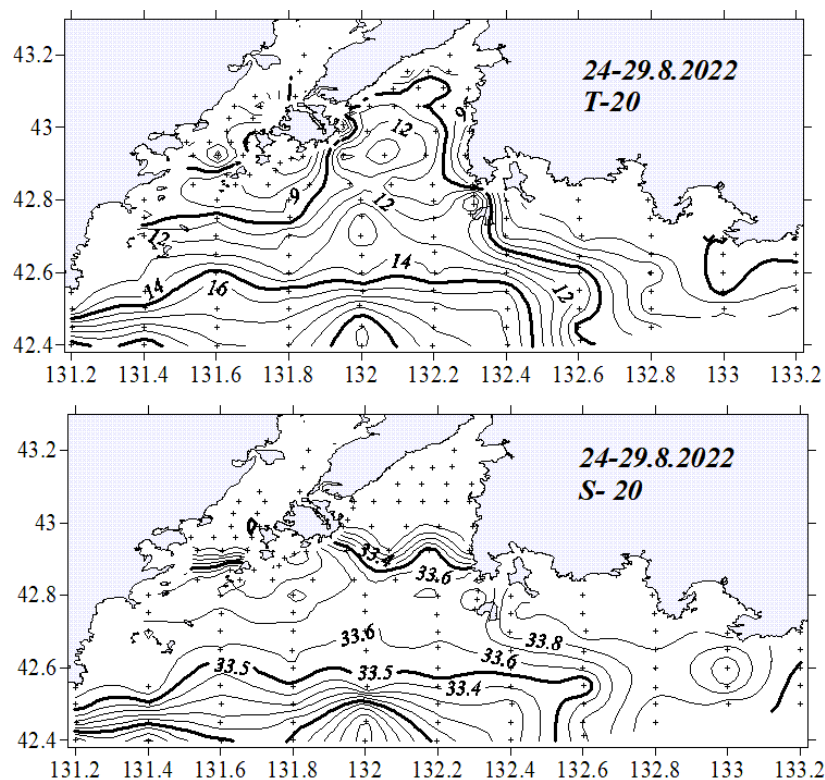


Рис. 16. Температура ($T-20$) и соленость ($S-20$) вод на горизонте 20 м

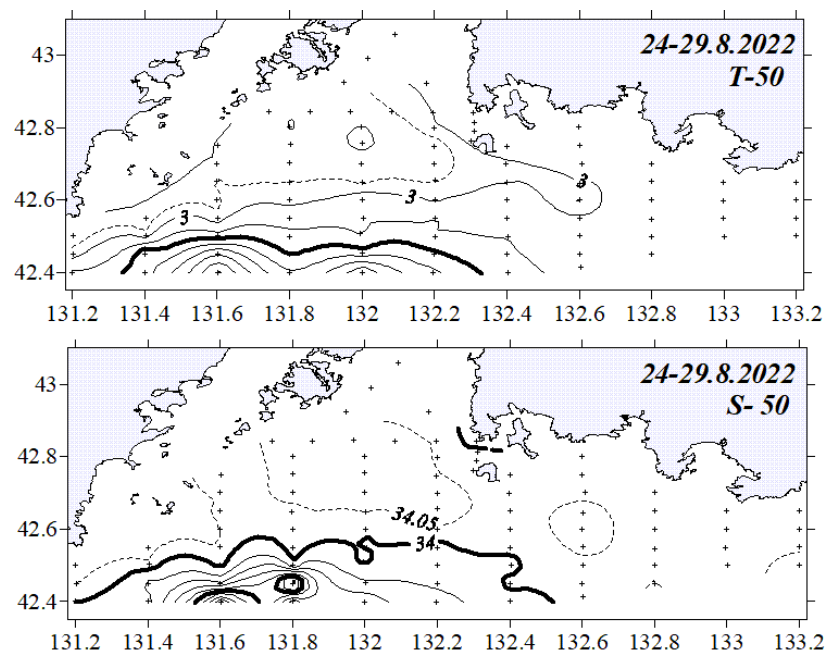


Рис. 17. Температура ($T-50$) и соленость ($S-50$) на горизонте 50 м

Необычными были и горизонтальные течения (рис. 18—19). На схемах показаны течения только со скоростью более 2 см/с. Вместо Приморского течения (потока вод западного-юго-западного направлений) летом 2022 г. в заливе господствовал поток противоположного (восточного) направления. Именно этим необычным направлением господствующих потоков объясняется необычная мощность холодных придонных вод в Уссурийском заливе: они были блокированы (заперты) в заливе мощным подпором теплых и соленых вод, переносимых в этот район с юго-запада.

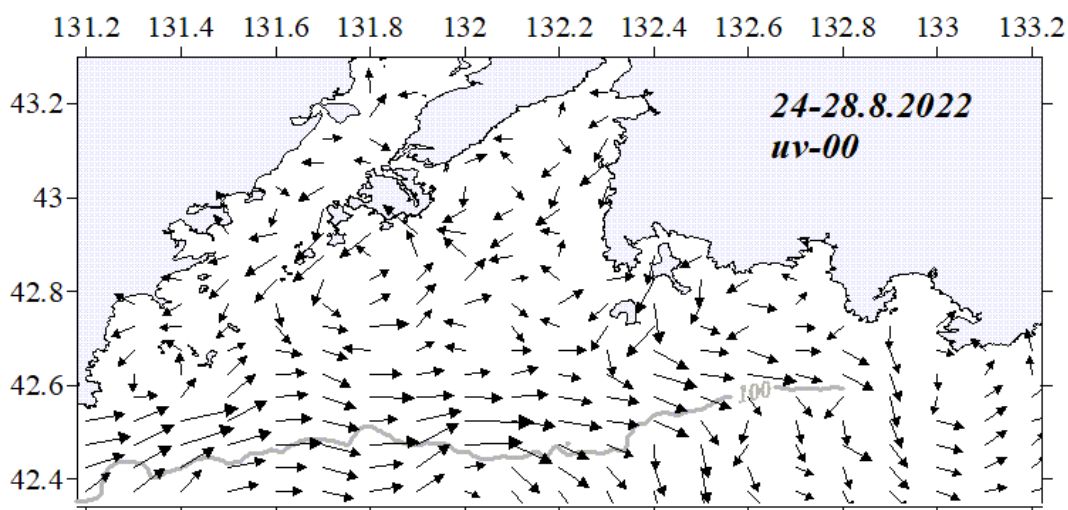


Рис. 18. Поверхностные течения ЗПВ летом 2022 г.

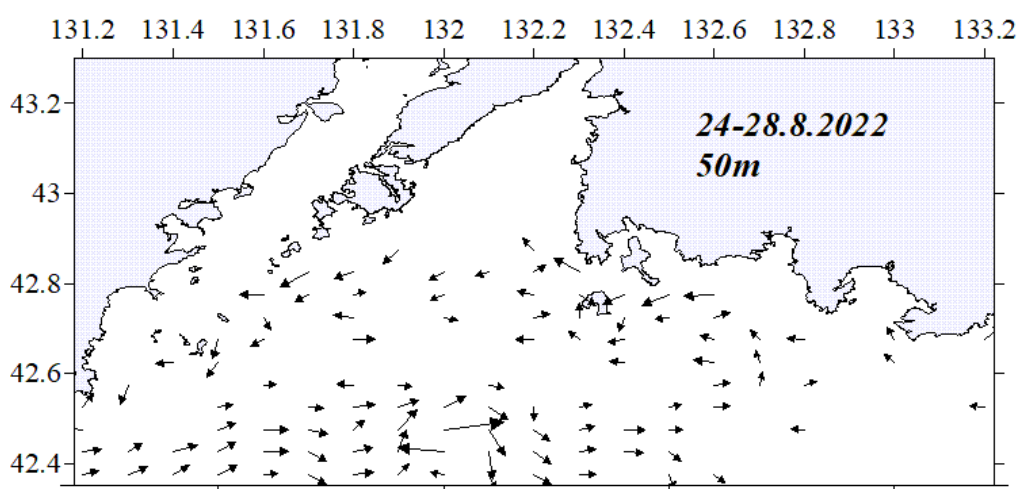


Рис. 19. Течения ЗПВ на горизонте 50 м

Анализ данных, полученных в 2022 г., позволяет сделать вывод о том, что состояние вод зал. Петра Великого в 2022 г. было необычным как в мае, так и в августе:

— весенние воды залива были экстремально теплыми при нормальной солёности, тогда как летние воды были аномально холодными при высокой солёности;

— летом 2022 г. в заливе преобладало течение восточного направления в отличие от обычной схемы течений, согласно которой в большей части залива господствуют потоки западного-юго-западного направлений;

— аномальная мощность холодных придонных вод в Уссурийском заливе летом 2022 г. была обусловлена необычной циркуляцией горизонтальных течений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Лоция северо-западного берега Японского моря от реки Туманная до мыса Белкина. — СПб.: ГУНИО, 1996. — № 1401. — 354 с.