



Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФГБУ «ДВНИГМИ»)

Аналитический материал

АМ.2024.04

Атлас изменений общего уровня химического загрязнения донных отложений на прибрежных акваториях Владивостока и в заливе Находка



РЕФЕРАТ

В обзоре представлены данные по изменению общего уровня химического загрязнения донных отложений (TRF_{chem}) на прибрежных акваториях Владивостока и в заливе Находка (соответственно за 1982–2022 и 2010–2022 гг.).

Авторы:

Мощенко А.В. (д-р биол. наук, вед. н. с., ФГБУ «ДВНИГМИ»)

Дата составления: 29.11.2024



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Материалы и методы исследований.....	7
2 Атлас изменений TPF_{chem} на прибрежных акваториях Владивостока и в заливе Находка	9
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	37

ВВЕДЕНИЕ

В ходе выполнения НИР 2020–2023 гг. был разработан и описан метод, предназначенный для определения предельно допустимого уровня (ПДУ) общего химического загрязнения осадков (TPF_{chem}) [1]. ПДУ – это законодательно утверждённая верхняя граница величины уровня фактора (шум, радиоактивность, напряжённость электромагнитного поля, концентрация веществ и т. д.), которая допускается при той или иной человеческой деятельности, как не приводящая к травмам или другим повреждениям организма [2, 3]. В экологии под ПДУ понимают максимальный уровень воздействия радиации, шума, вибрации, магнитных полей и иных вредных физических (и химических – прим. автора) воздействий, который не представляет опасности для здоровья человека, состояния животных, растений, их генетического фонда [4].

Следует подчеркнуть, что донные отложения – один из конечных этапов миграции вещества в морских экосистемах. Многие поллютанты накапливаются в грунтах, и их содержание может служить интегральным показателем степени загрязнения прибрежных вод. Поэтому наиболее показательными в системе оценки воздействия являются именно осадки как более надёжный, чем вода, индикатор загрязнения водных объектов.

Необходимость применения некоего интегрального показателя, который характеризует общий уровень химического загрязнения осадков и объединяет концентрации нескольких загрязнителей, желательны приоритетных, и в наилучшей степени отражающих влияние хотя бы основных источников загрязняющих веществ (далее – ЗВ) возникает по следующей причине. ЗВ в естественных условиях действуют на живые организмы комплексно, суммируясь, усиливая или, наоборот, ослабляя эффекты отдельных веществ. Усиление таких эффектов называется синергизмом — комбинированным воздействием двух или более факторов (обычно химических), которое характеризуется тем, что их совместное биологическое действие значительно превышает эффект каждого компонента и их суммы [5, 6]. Однако один только ПДУ недостаточен для описания экологического состояния акватории.

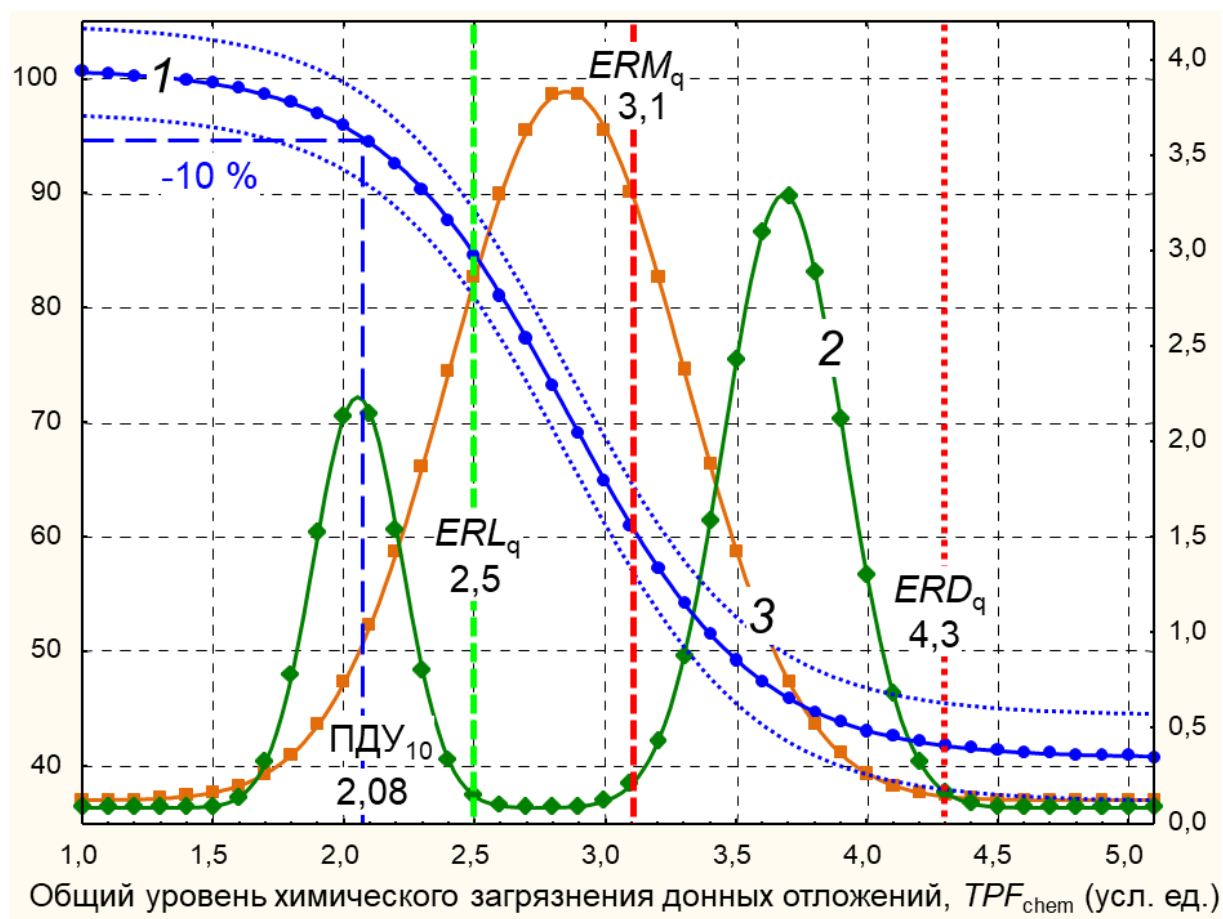
Наши исследования показали, что оптимальным является выделение следующих граничных критериев [1, 7] (рисунок 1):

- Интактное состояние: ПДУ_{10d} – 10 % снижение видового разнообразия декапод (1,7 усл. ед.; по ретроспективным данным это значение равно минимальному уровню загрязнения донных отложений в начале 30-х годов прошлого столетия, а также фоновым значениям TPF_{chem} , полученным в почти интактных районах залива Петра Великого);
- Почти интактное состояние: ПДУ₁₀ – такое же падение обобщенной функции

состояния (далее – ОФС) экологических типов сообществ макрозообентоса (2,0 усл. ед., координата точки наибольшей кривизны ОФС; оптимум II кластера в классификации таксономических групп; максимальный уровень загрязнения осадков в 30-е годы прошлого столетия);

- Резкое ухудшение условий среды: ERL_q и ERM_q – соответственно начало и конец области прогрессивной деградации донного населения (2,5 и 3,1 усл. ед.; наиболее быстрое, почти линейное, уменьшение ОФС);
- Полное разрушение: ERD_q – 4,3 усл. ед.; координата точки выхода ОФС на плато после падения.

Как и ПДК, ПДУ следует дифференцировать: для акваторий, предназначенных для донного культивирования беспозвоночных, они должны быть жестче, чем, например, для водоемов культурно-бытового использования (соответственно $ПДУ_{10d}$ и $ПДУ_{10}$).



1, 2 и 3 – обобщенная функция состояния макрозообентоса, ее кривизна и приращение (соответственно основная и дополнительная оси ординат), штриховые линии показывают область 10 % снижения модельных кривых и положение величин ERL_q , ERM_q и ERD_q , точечные – \pm ошибка репрезентативности, цифры – координаты точек $ПДУ_{10}$, ERL_q , ERM_q и ERD_q в единицах TPF_{chem}

Рисунок 1 – Схема определения $ПДУ_{10}$ и пороговых величин ERL_q , ERM_q и ERD_q

В сообществах донных животных, обитающих при $TPF_{chem} < ПДУ_{10}$, доминируют экстремально чувствительные и чувствительные по отношению к загрязнению виды, а также экстремально чувствительные и индифферентные к эвтрофикации представители макрозообентоса. Эти группировки отличаются высоким видовым богатством, разнообразием, выравненностью ранговых распределений, высоким и хорошим экологическим статусом (индексы Маргалефа, Шеннона-Винера, Пиелу, биотический индекс $M-AMBI$), низкими величинами показателя экологического стресса, биоиндикационного индекса TPF_{bio} , который характеризует степень загрязнения на основе видового состава. Степень повреждения донного населения и его местообитаний низка (индекс $AMBI$), а в их составе преобладают относительно крупные животные (статистика Кларка). Затем, по мере роста загрязнения, происходят следующие изменения, описываемые логистическими функциями (15 частных функций экологического состояния: объясненная дисперсия – $89,1 \pm 2,8 \%$):

1. Снижение роли экстремально чувствительных и чувствительных таксонов и увеличение значения толерантных и экстремально толерантных к загрязнению представителей зообентоса;

2. Уменьшение доли стенобионтных и увеличение вклада эврибионтных видов;

3. Замена экстремально чувствительных, индифферентных и толерантных к эвтрофикации животных на оппортунистов первого и второго порядка;

4. Падение видового богатства, разнообразия, выравненности ранговых распределений таксонов, экологического статуса донного населения и роли относительно крупных животных;

5. Рост индекса TPF_{bio} , показателя экологического стресса, биотического полихето-амфиподного индекса $BOPA$, степени нарушения донного населения и мест его обитания.

Все эти изменения в наибольшей степени выражены при уровне загрязнения, лежащем в диапазоне между пороговыми величинами ERL_q и ERM_q . В результате этих трансформаций при $TPF_{chem} > ERD_q$ формируются специфические сообщества, почти целиком состоящие из эврибионтных, толерантных и экстремально толерантных к загрязнению оппортунистических таксонов. Эти группировки, в отличие от таковых, обитающих при $TPF_{chem} < ПДУ$, характеризуются низким видовым богатством, разнообразием, выравненностью и экологическим статусом, обитают в сильно поврежденных загрязнением и эвтрофикацией биотопах, имеют высокий показатель экологического стресса и составлены, преимущественно, из относительно мелких представителей макрозообентоса.

1. Материалы и методы исследований

Материалом для анализа послужили данные, полученные в 1982–2022 гг. на станциях Общегосударственной службы наблюдений (ОГСН) в заливе Петра Великого Японского моря (заливы Амурский, Уссурийский, Находка, пролив Босфор Восточный) (рисунок 2). Пробы грунта отбирали дночерпателем Ван-Вина ($0,11 \text{ м}^2$); на каждой станции часть верхнего слоя осадков (2–3 см) замораживали для последующего измерения концентраций загрязняющих веществ.

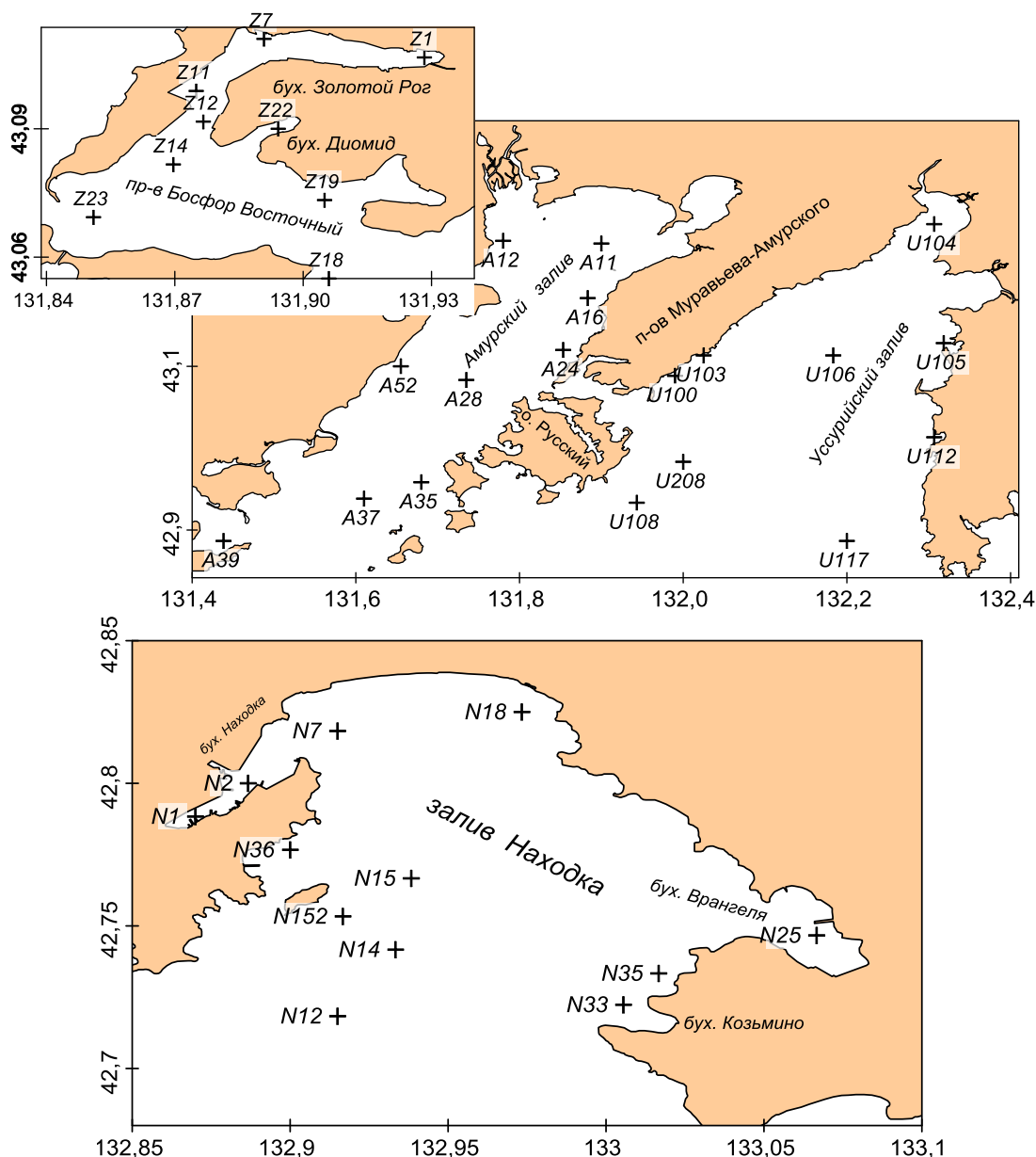


Рисунок 2 – Расположение станций ОГСН на акватории зал. Петра Великого

Содержание всех использованных для характеристики общего уровня химического загрязнения поллютантов (Cu, Pb, Zn, фенолы, хлорированные и общие углеводороды)

измеряли в лаборатории мониторинга загрязнения морских вод ФГБУ «Приморское УГМС» по стандартным методикам Росгидромета [8].

Для характеристики общего уровня химического загрязнения донных отложений применяли индекс:

$$TPF_{\text{chem}} = (PNC + PNE + Pb + Cu + SDDT) / 5 \quad (1.1)$$

где PNC, PNE, Pb, Cu и SDDT — 5-ранговые оценки (*ln*-масштаб) содержания углеводов, фенолов, свинца, меди, суммы ДДТ и его метаболитов [1, 9]. Эти элементы и соединения относятся к приоритетным ЗВ, а их набор для залива Петра Великого был определен методами факторного анализа. Вычисление TPF_{chem} производили при помощи программы TrfCalc, разработанной одним из авторов в среде STATISTICA [10].

При построении карт распределения TPF_{chem} на прибрежных акваториях Владивостока и залива Находка (станции ОГСН, соответственно с 1982 по 2022 гг. и с 2010 по 2022 гг.; всего 41 и 13 рисунков) использовали величины ПДУ_{10d}, ПДУ₁₀, ERL_q , ERM_q и ERD_q [см. ВВЕДЕНИЕ].

2. Атлас изменений TPF_{chem} на прибрежных акваториях Владивостока и в заливе Находка

Динамика общего уровня химического загрязнения осадков – индекса TPF_{chem} – как и отдельных ЗВ, обусловлена действием индустриального и терригенного факторов загрязнения и, естественно, процессов самоочищения, что и определяет существенные пространственно-временные флуктуации его значений [11–13], которые отражены на рисунках 3–23. Такие же флуктуации характерны и для залива Находка (рисунок 24–30).

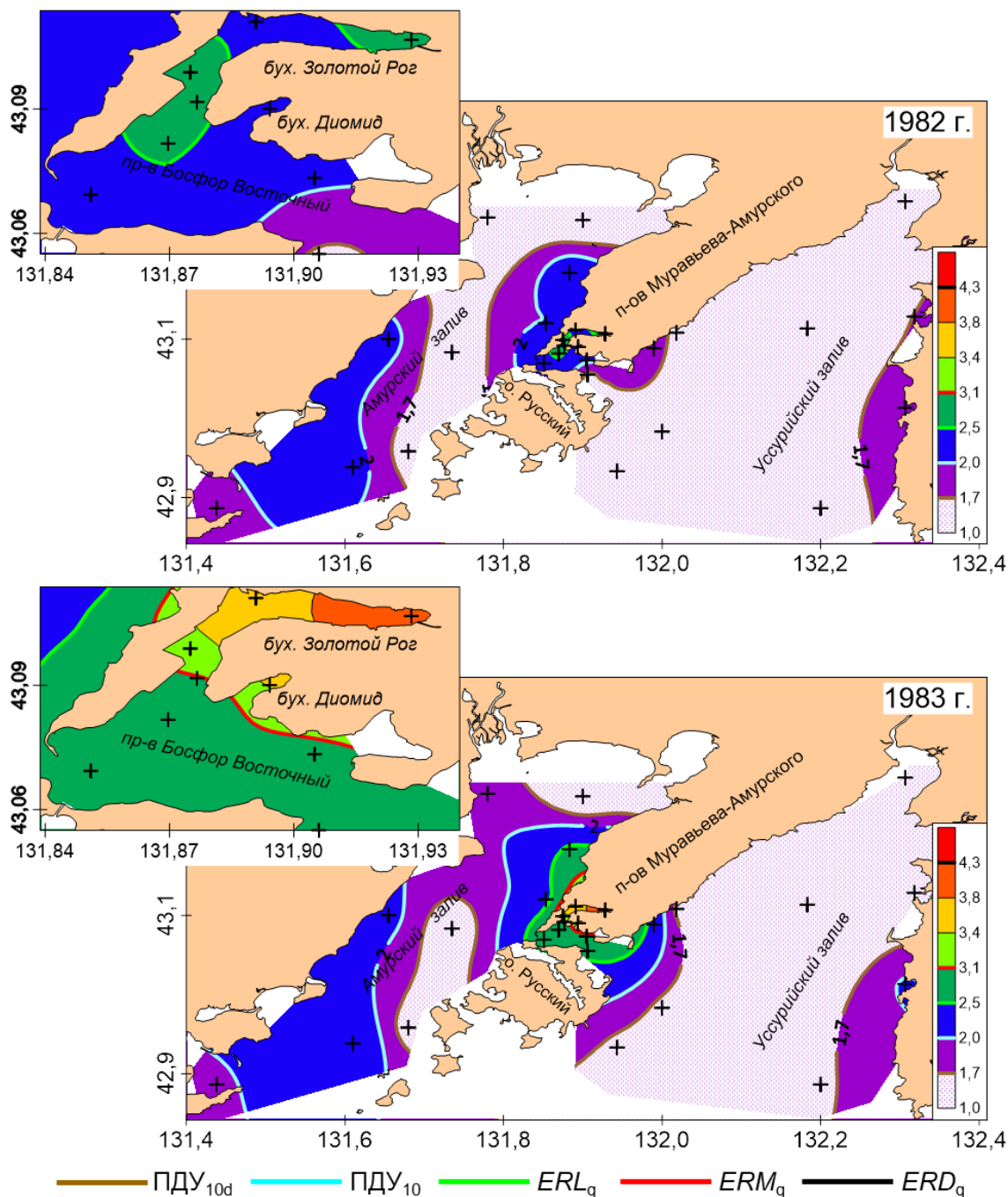


Рисунок 3 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

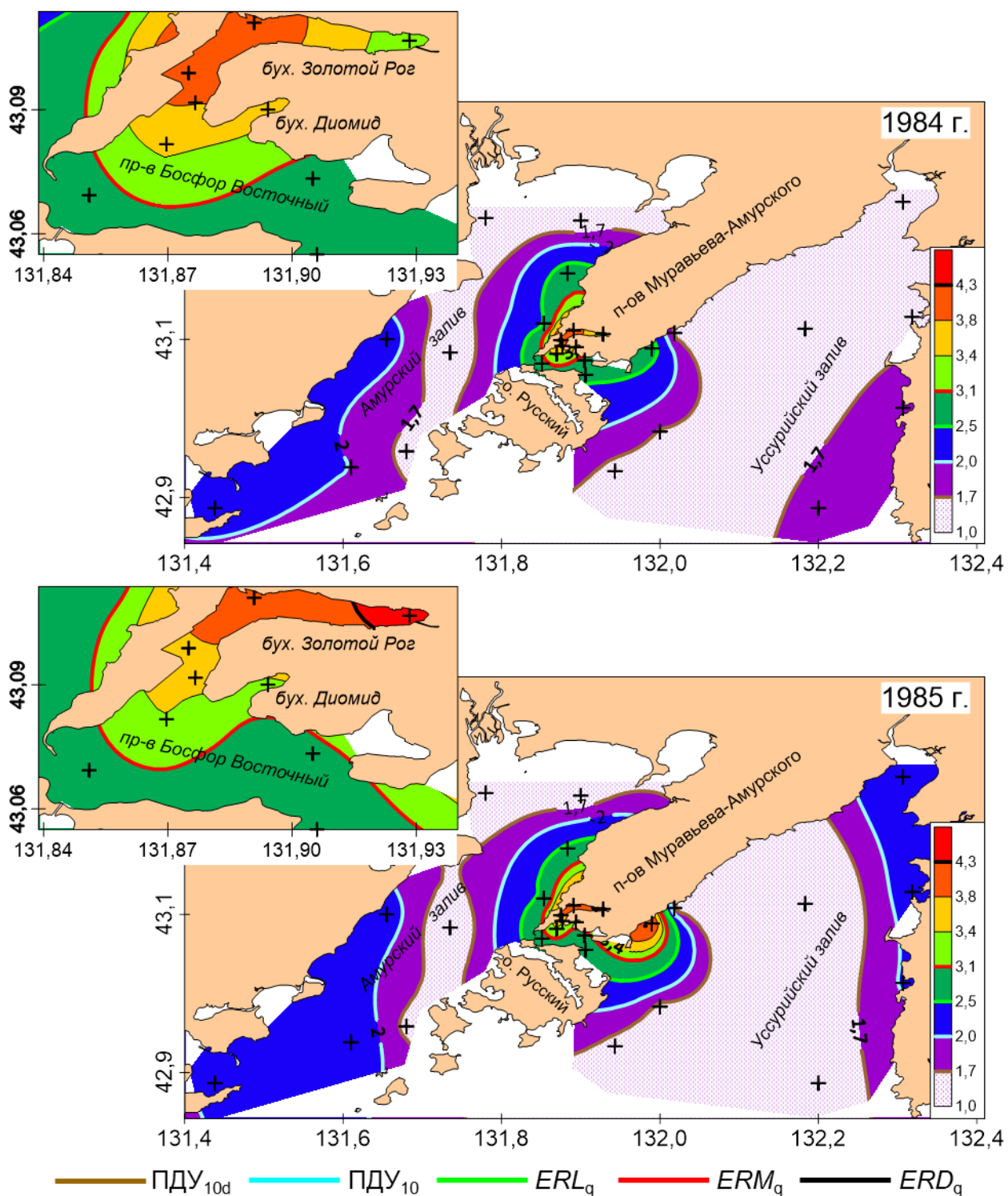


Рисунок 4 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

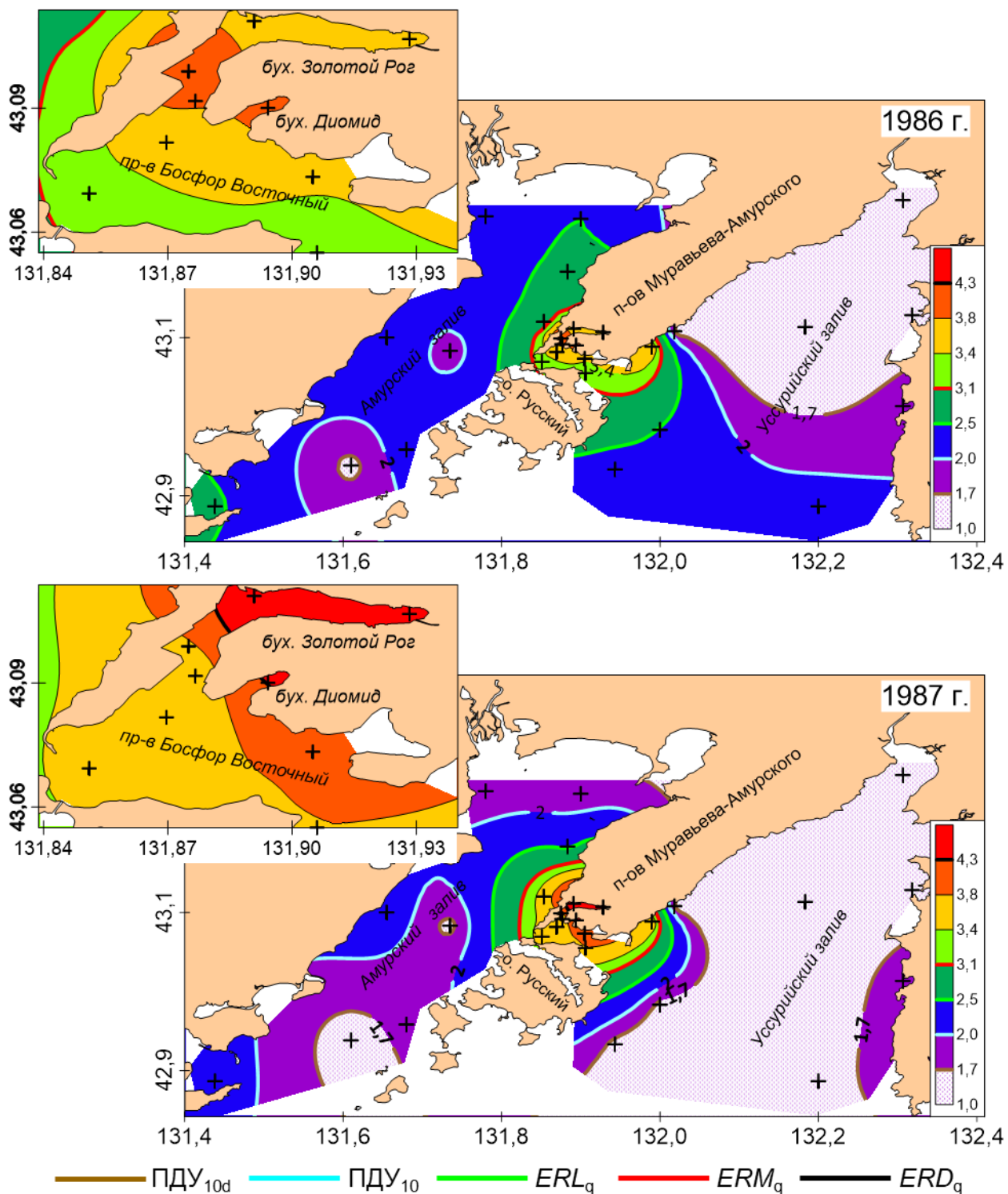


Рисунок 5 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

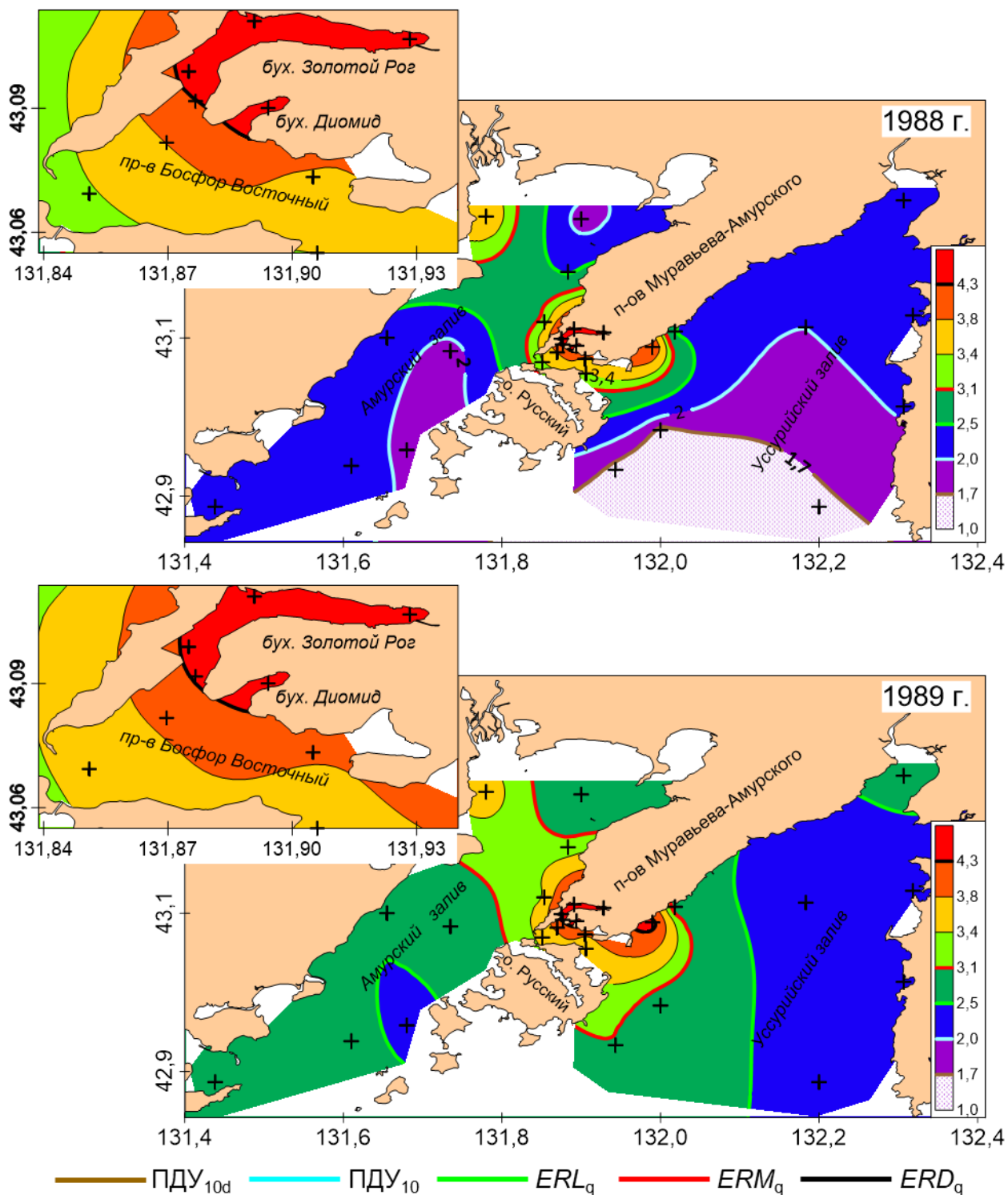


Рисунок 6 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

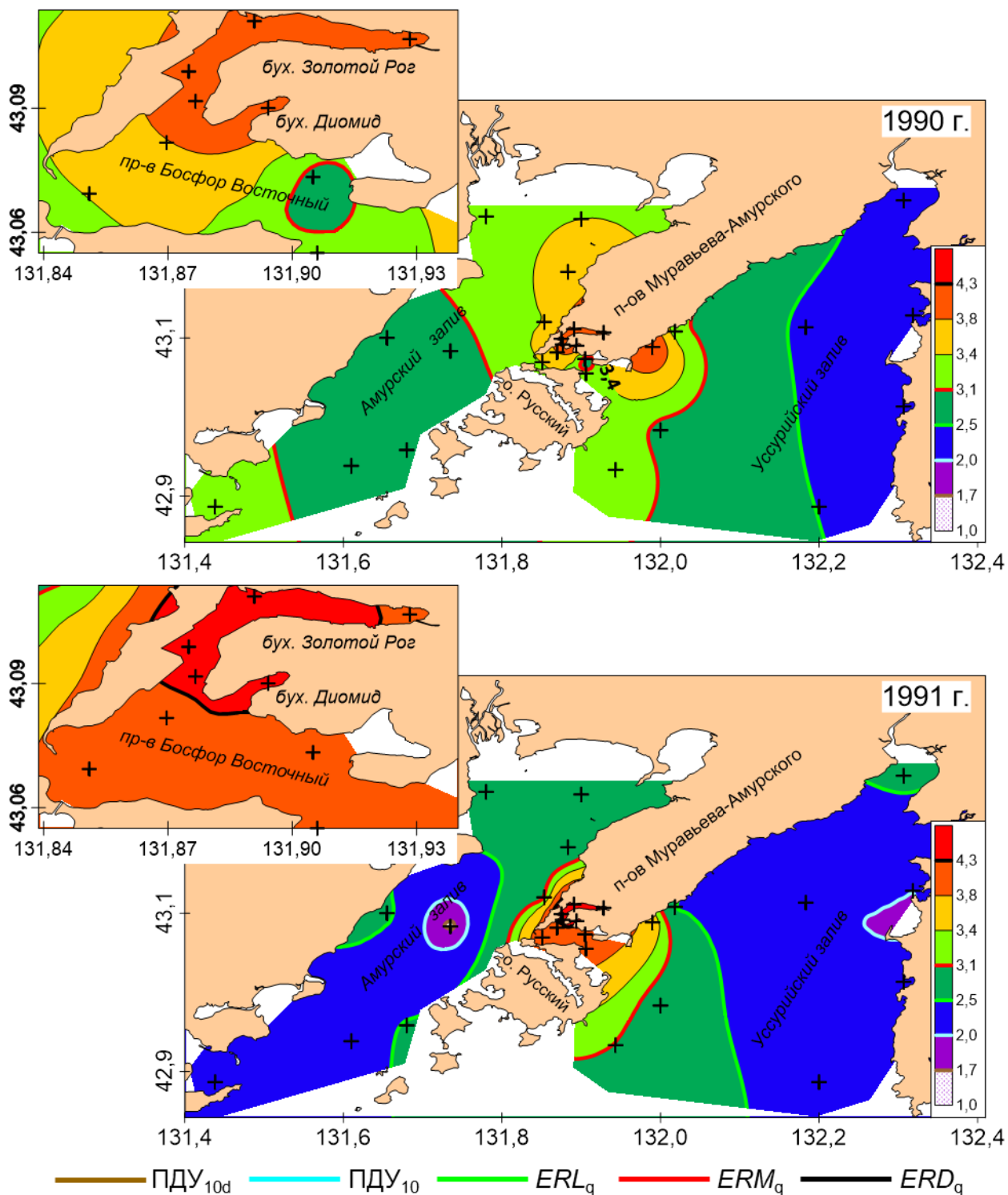


Рисунок 7 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

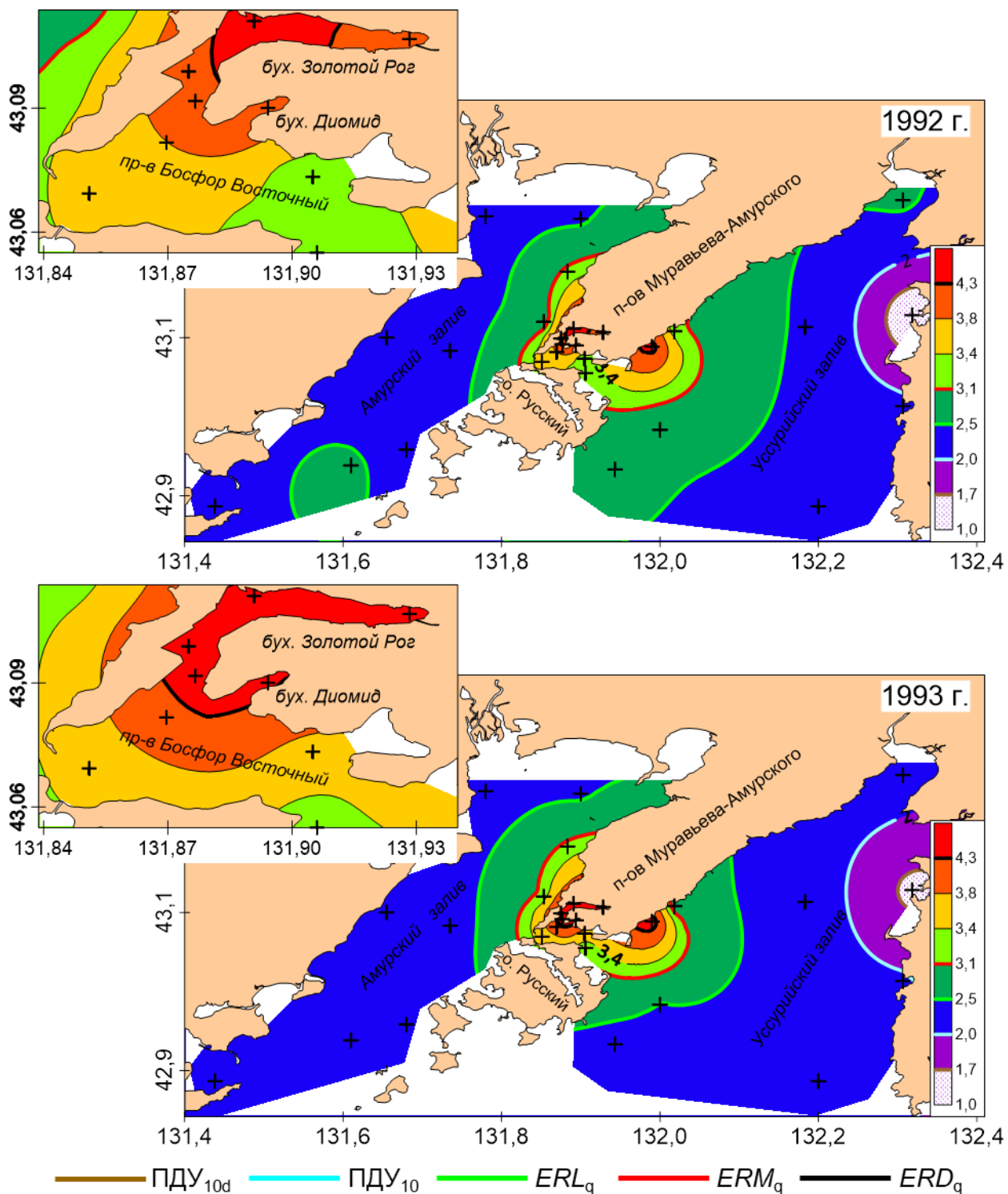


Рисунок 8 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

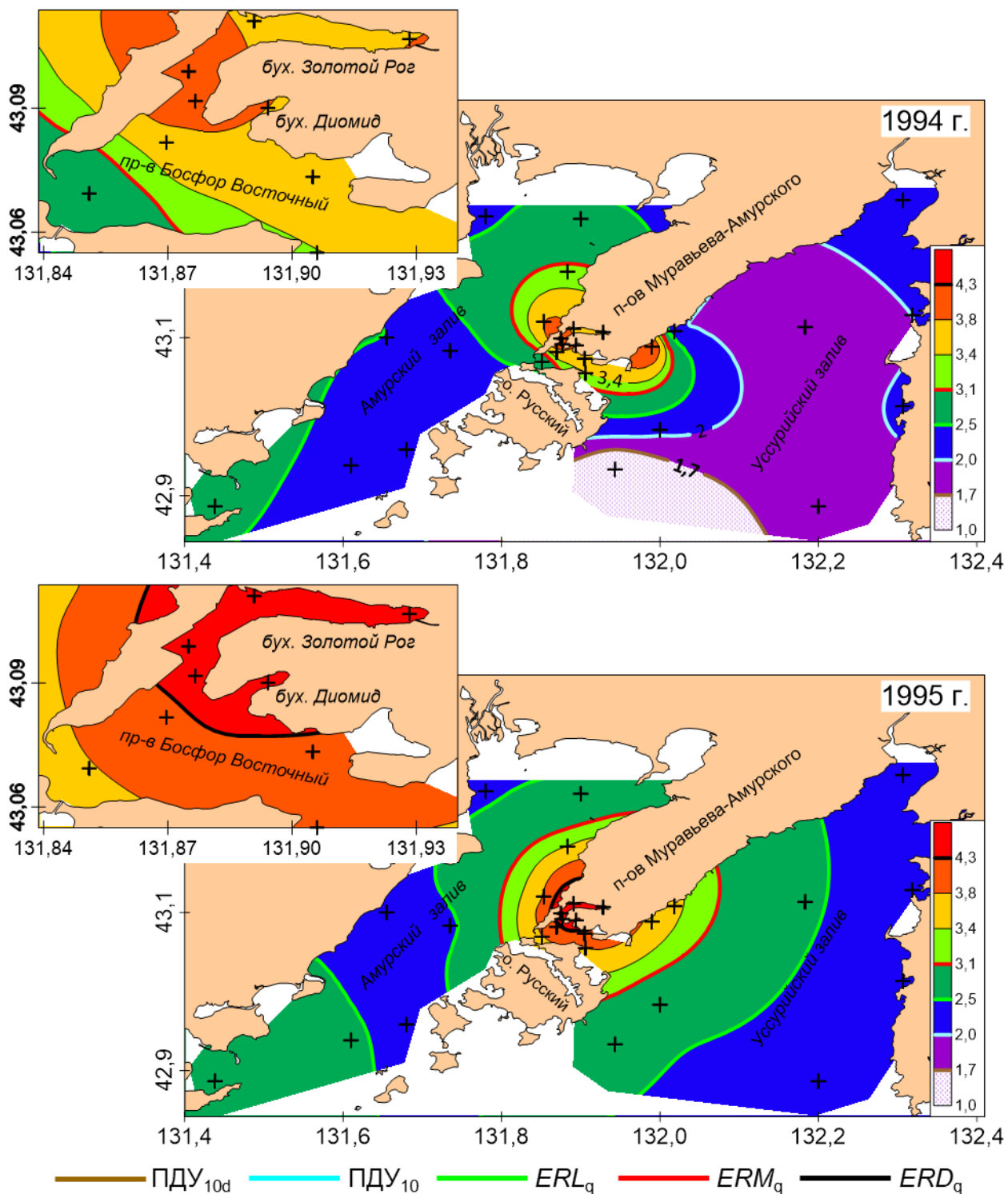


Рисунок 9 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

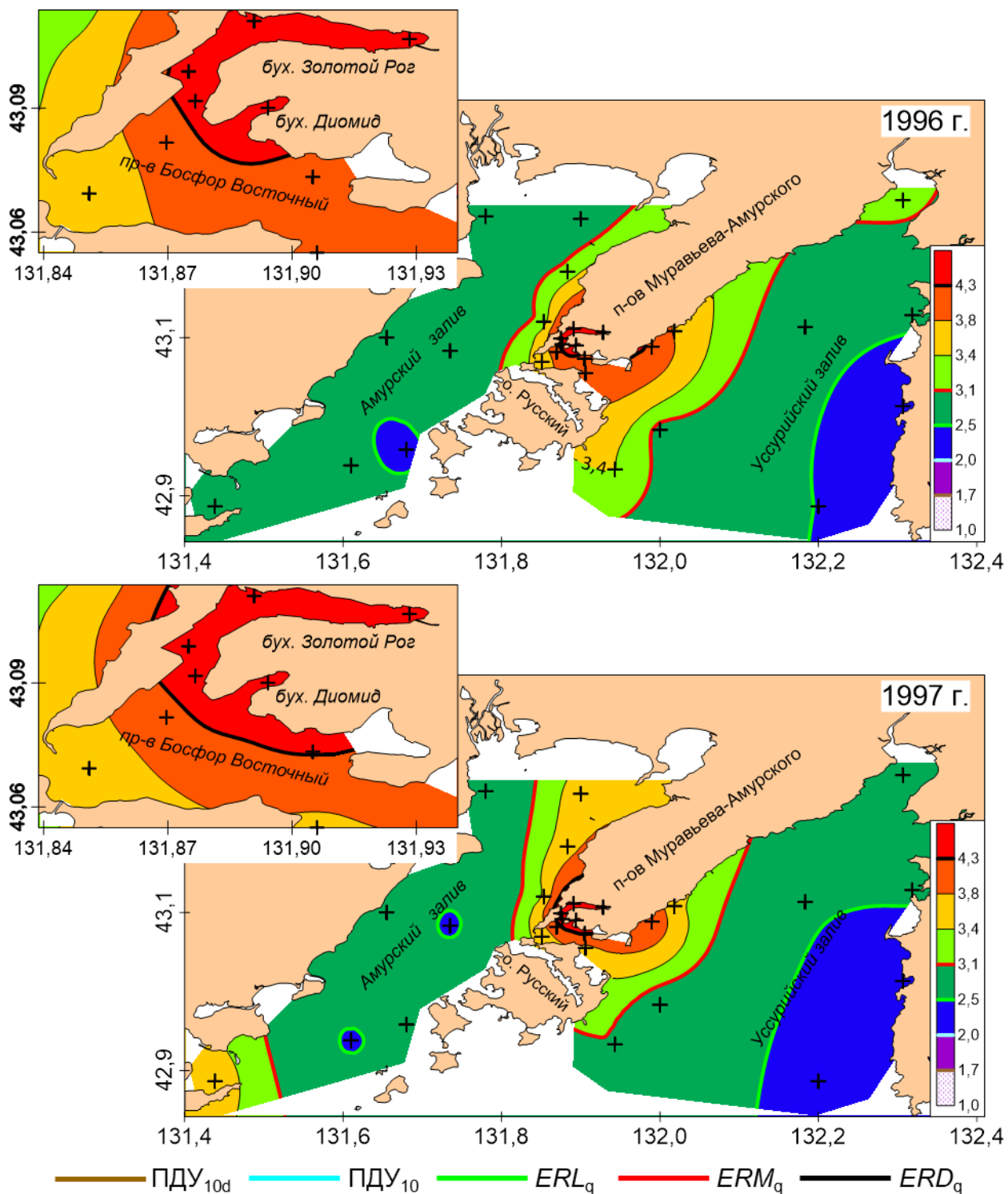


Рисунок 10 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

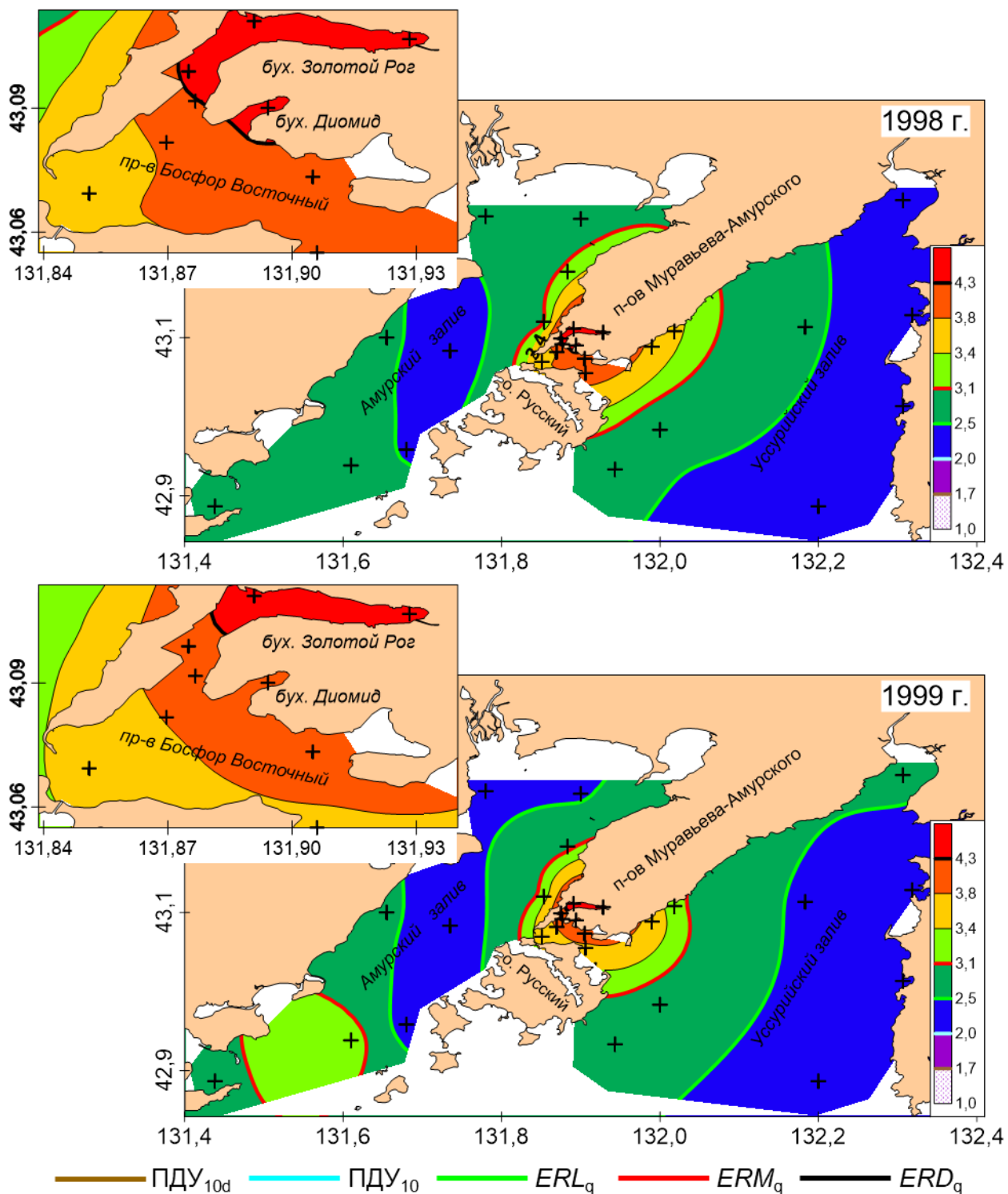


Рисунок 11 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

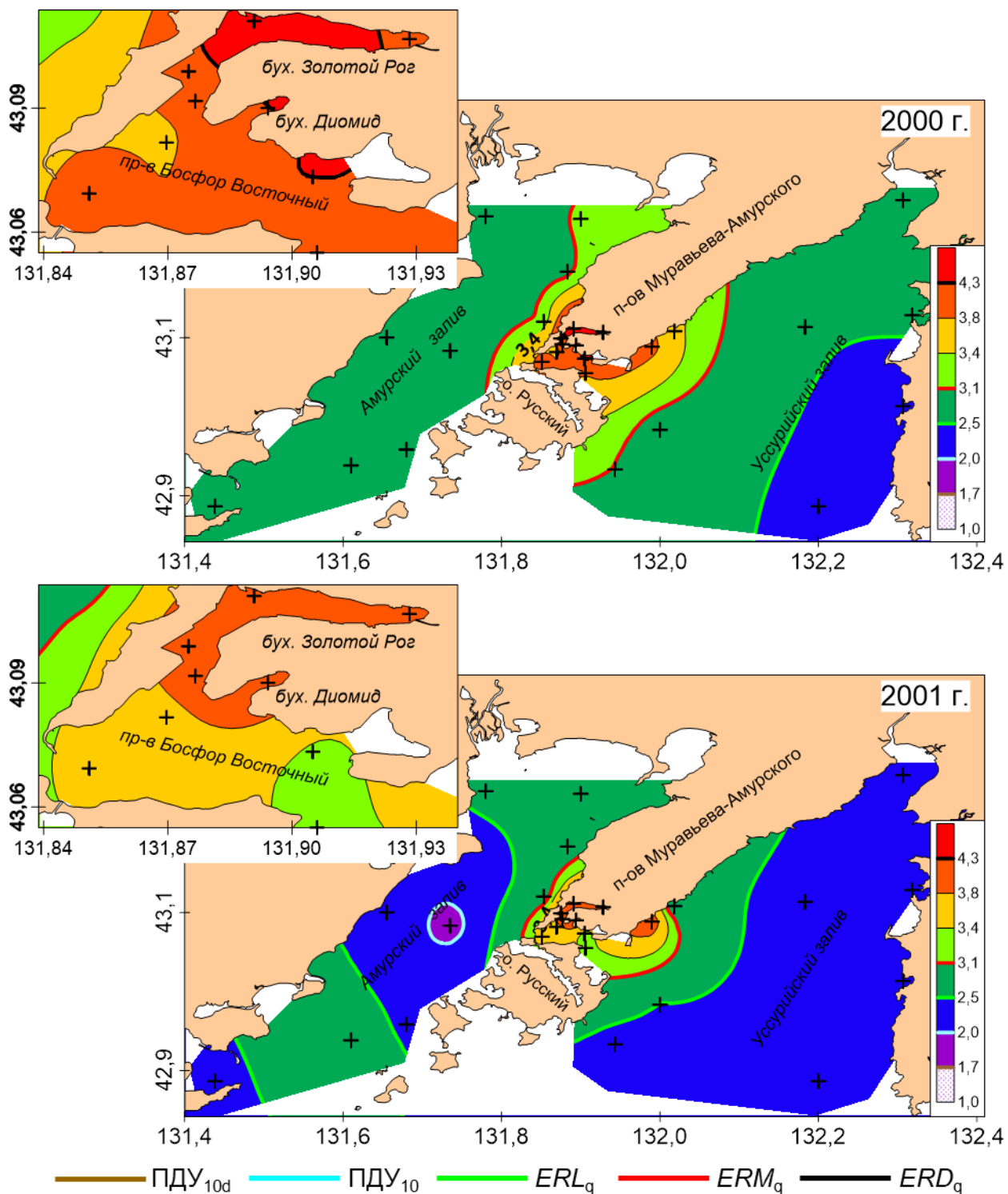


Рисунок 12 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

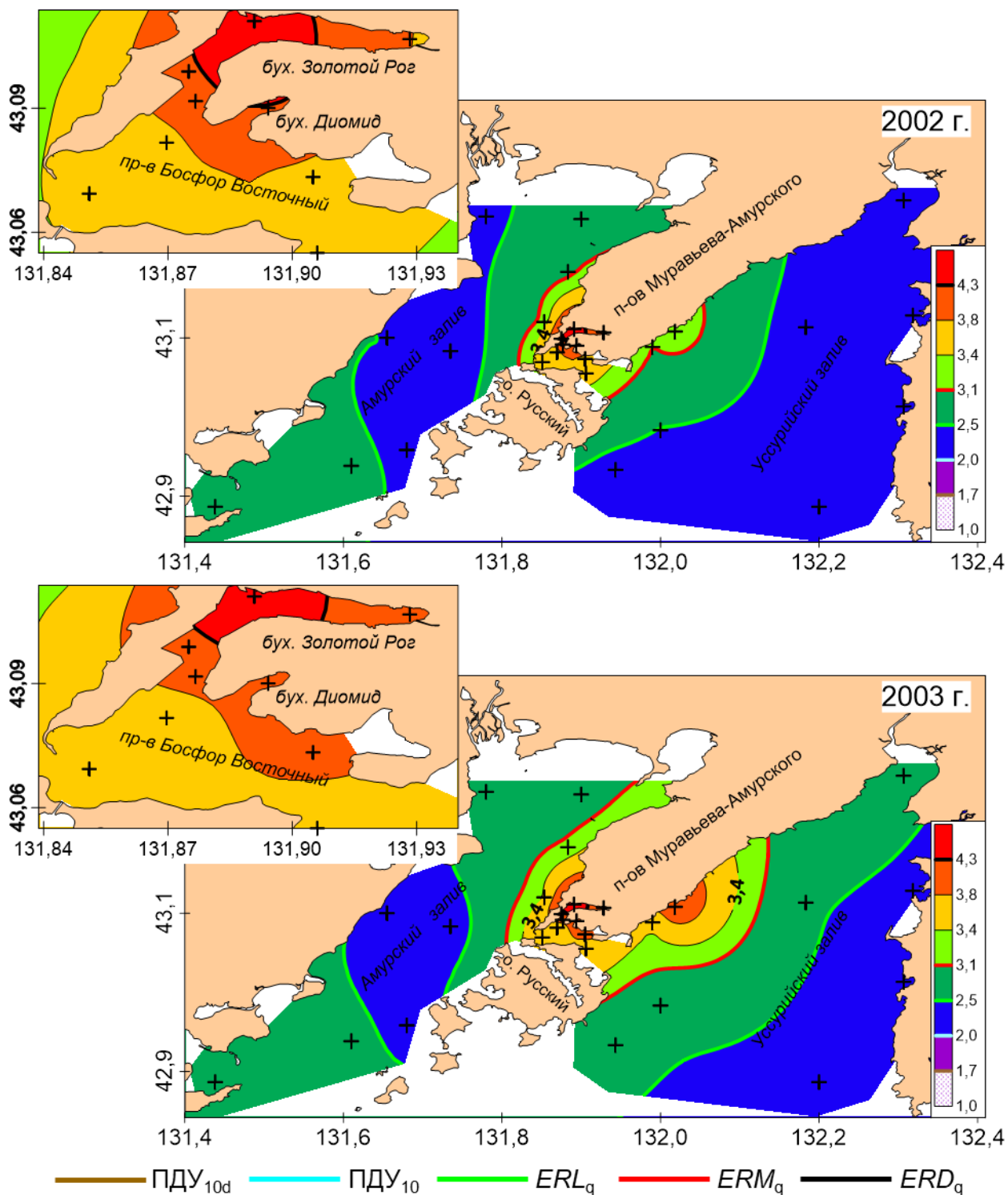


Рисунок 13 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

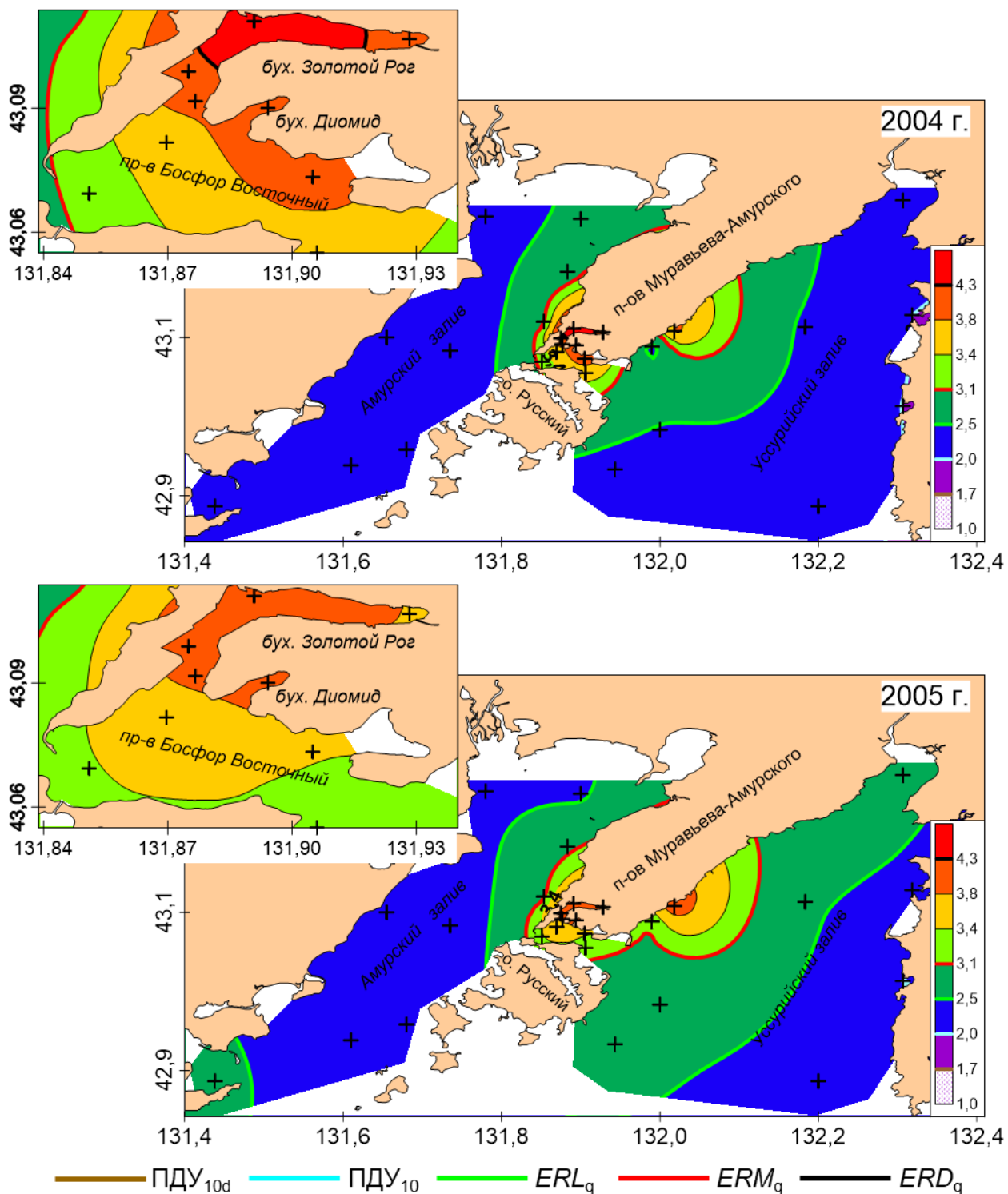


Рисунок 14 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

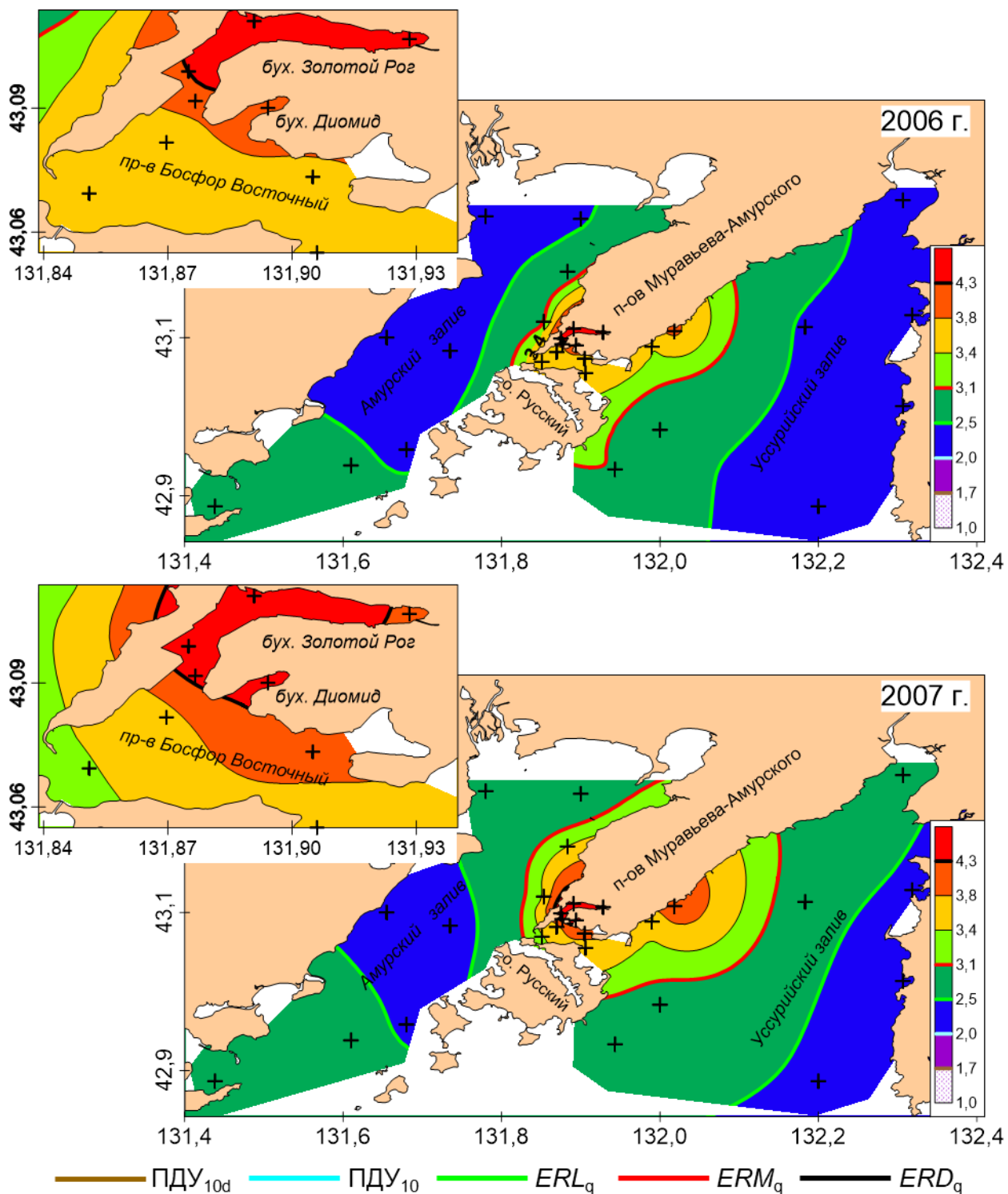


Рисунок 15 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

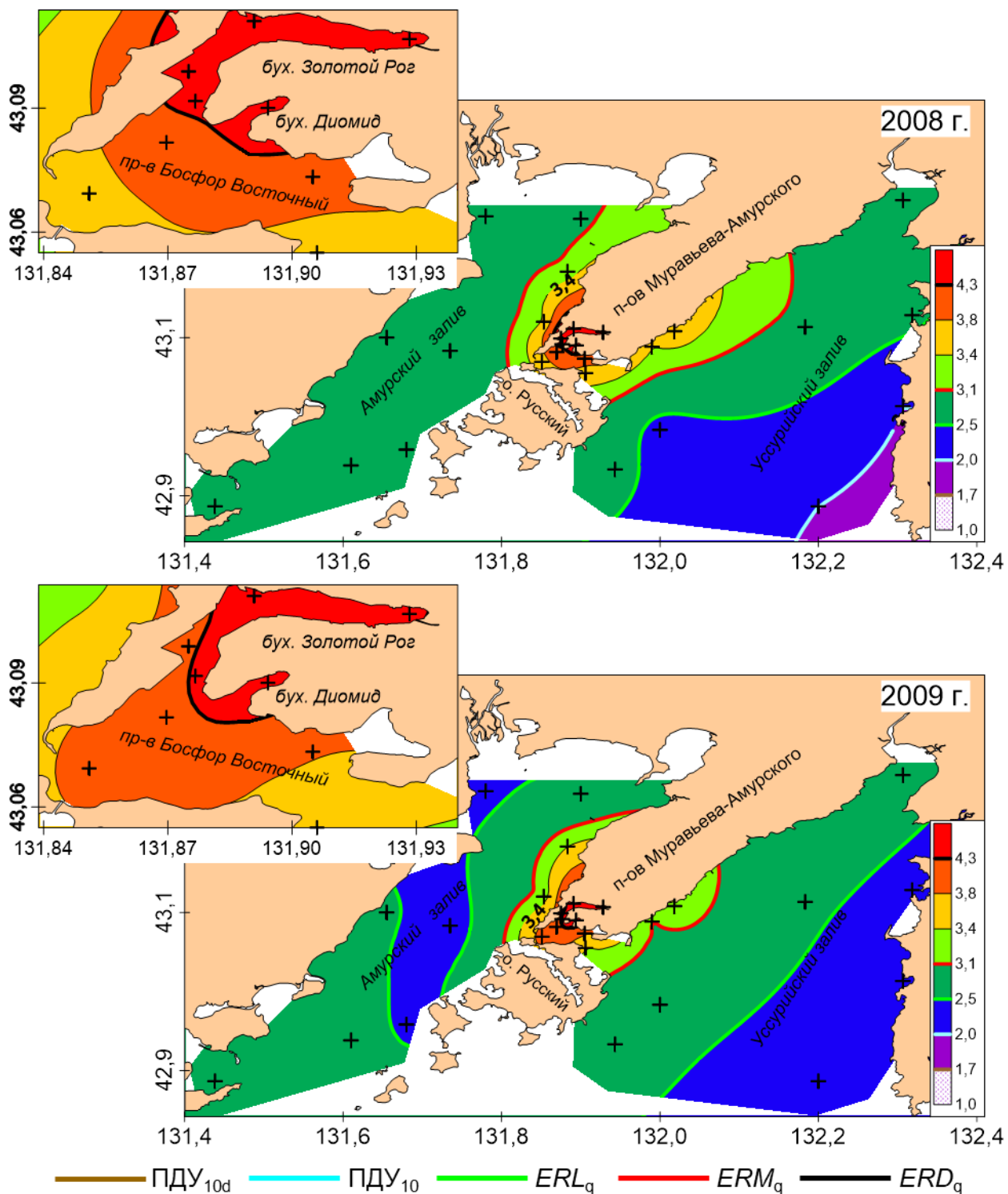


Рисунок 16 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

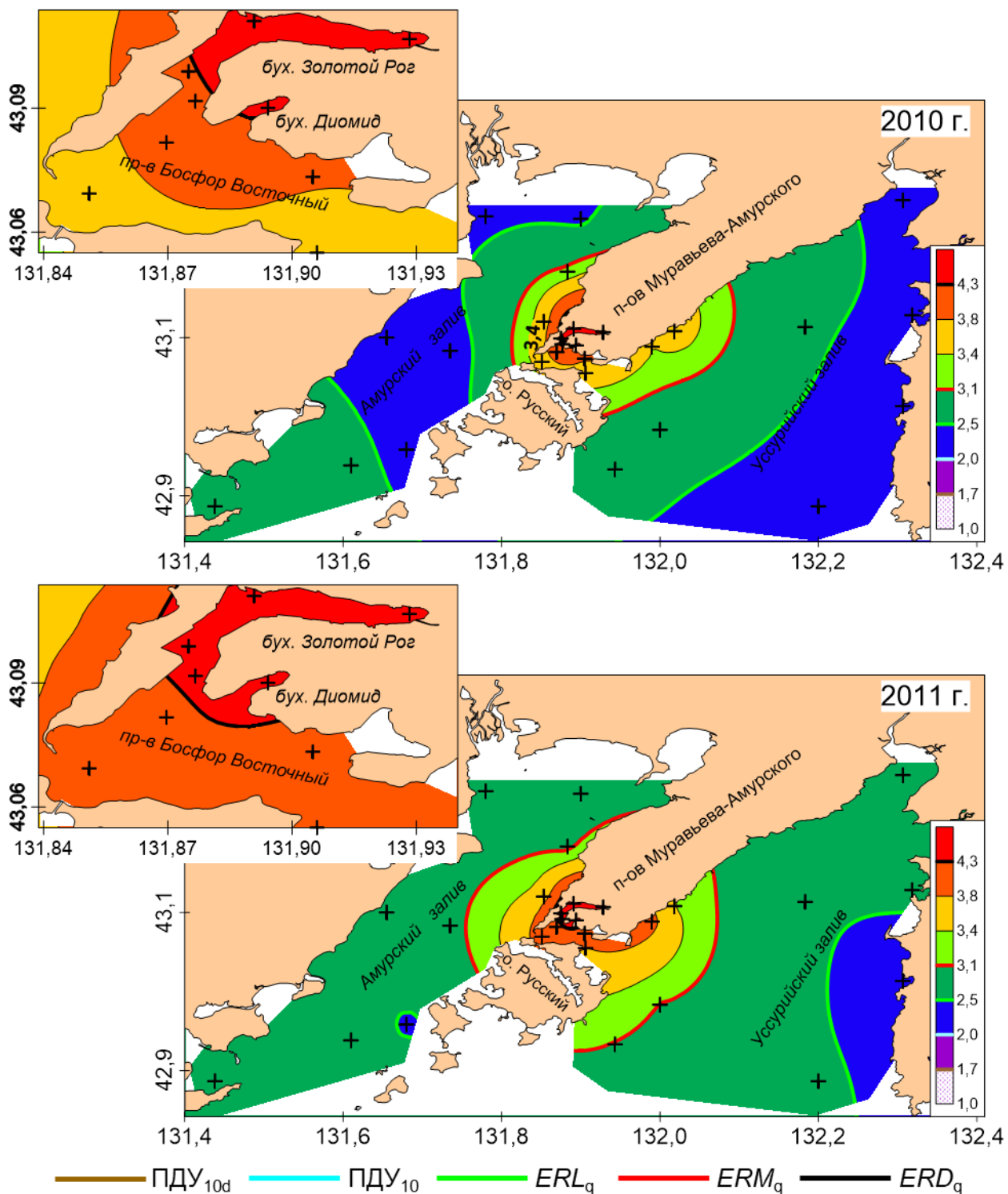


Рисунок 17 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

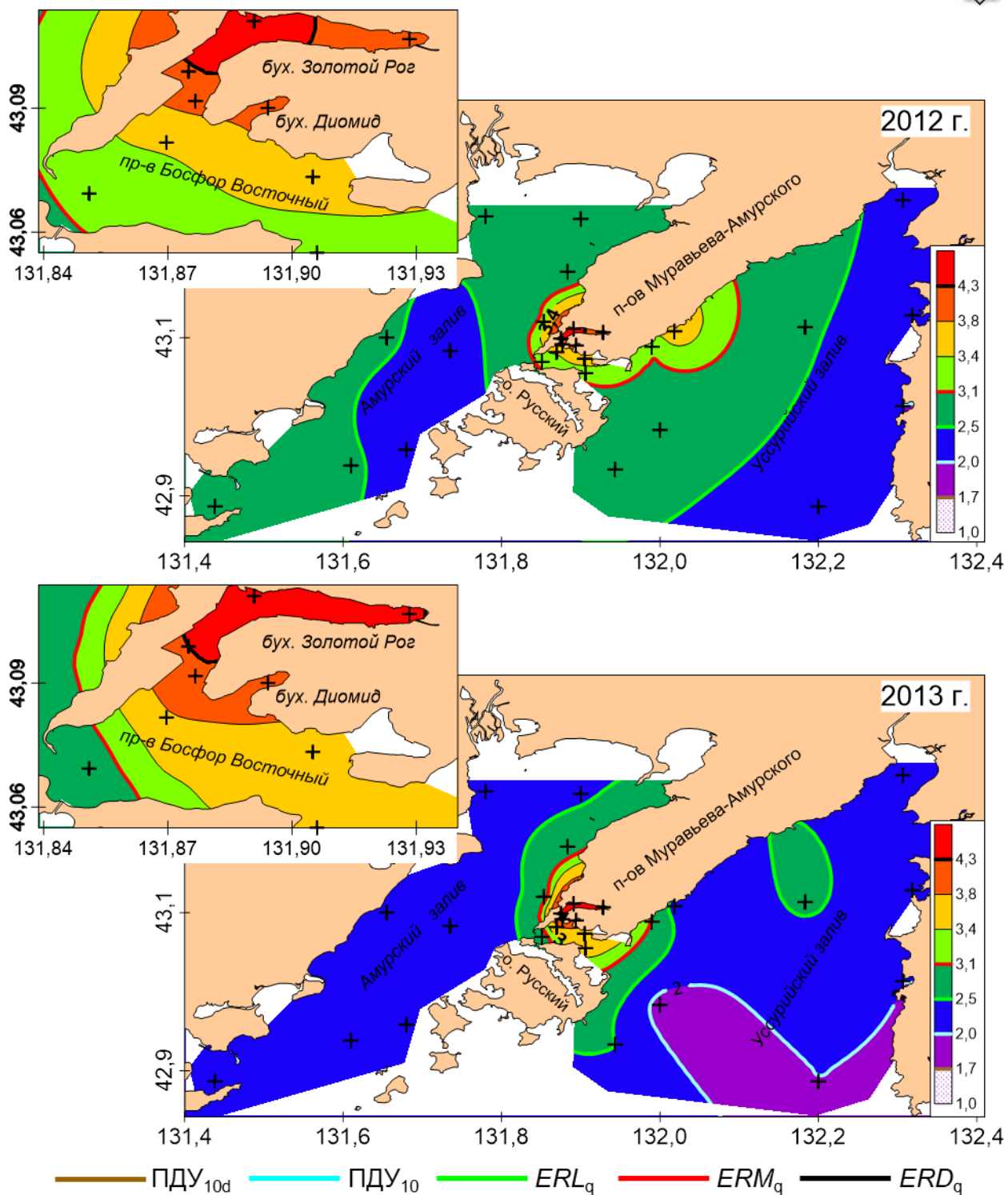


Рисунок 18 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

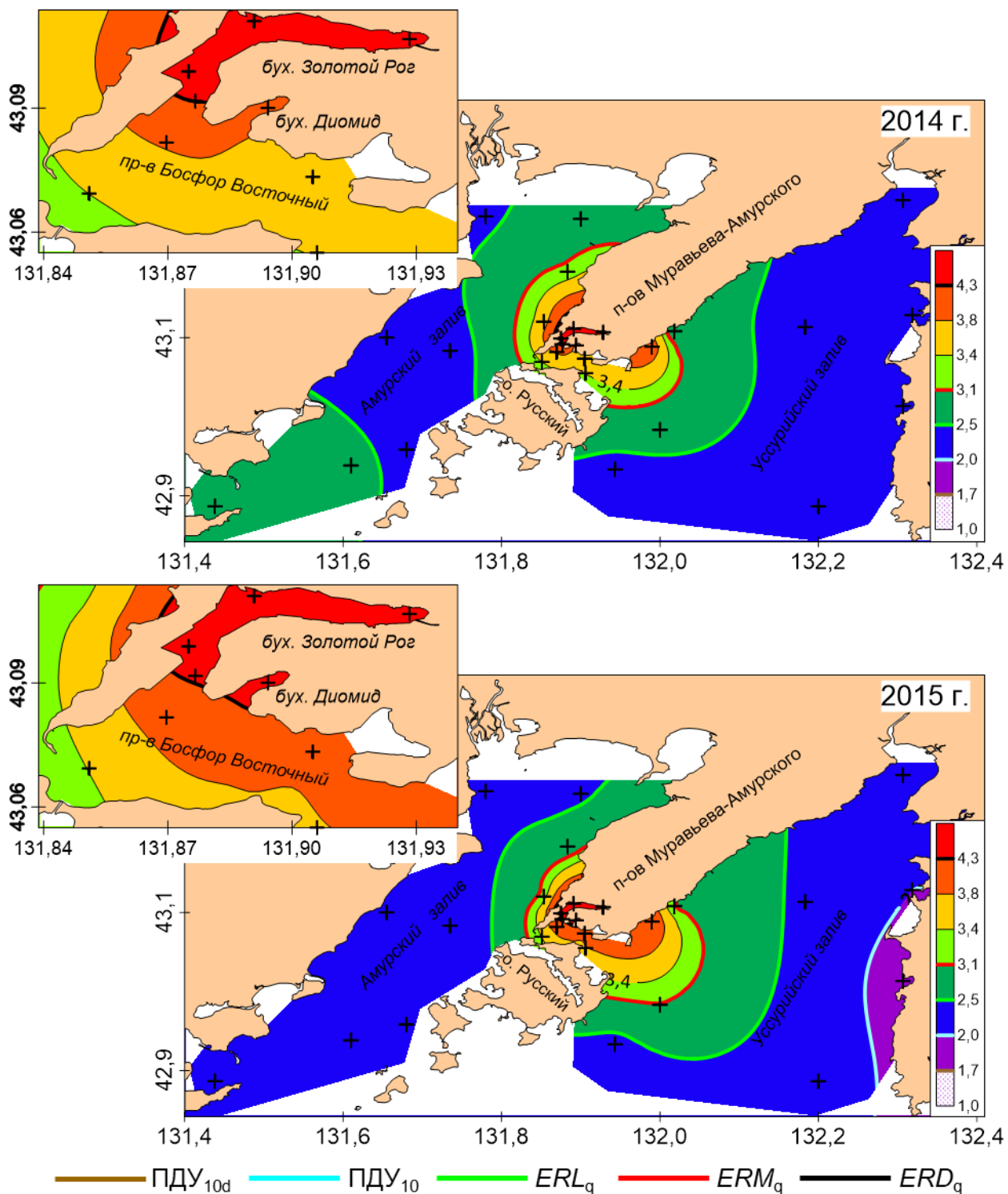


Рисунок 19 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

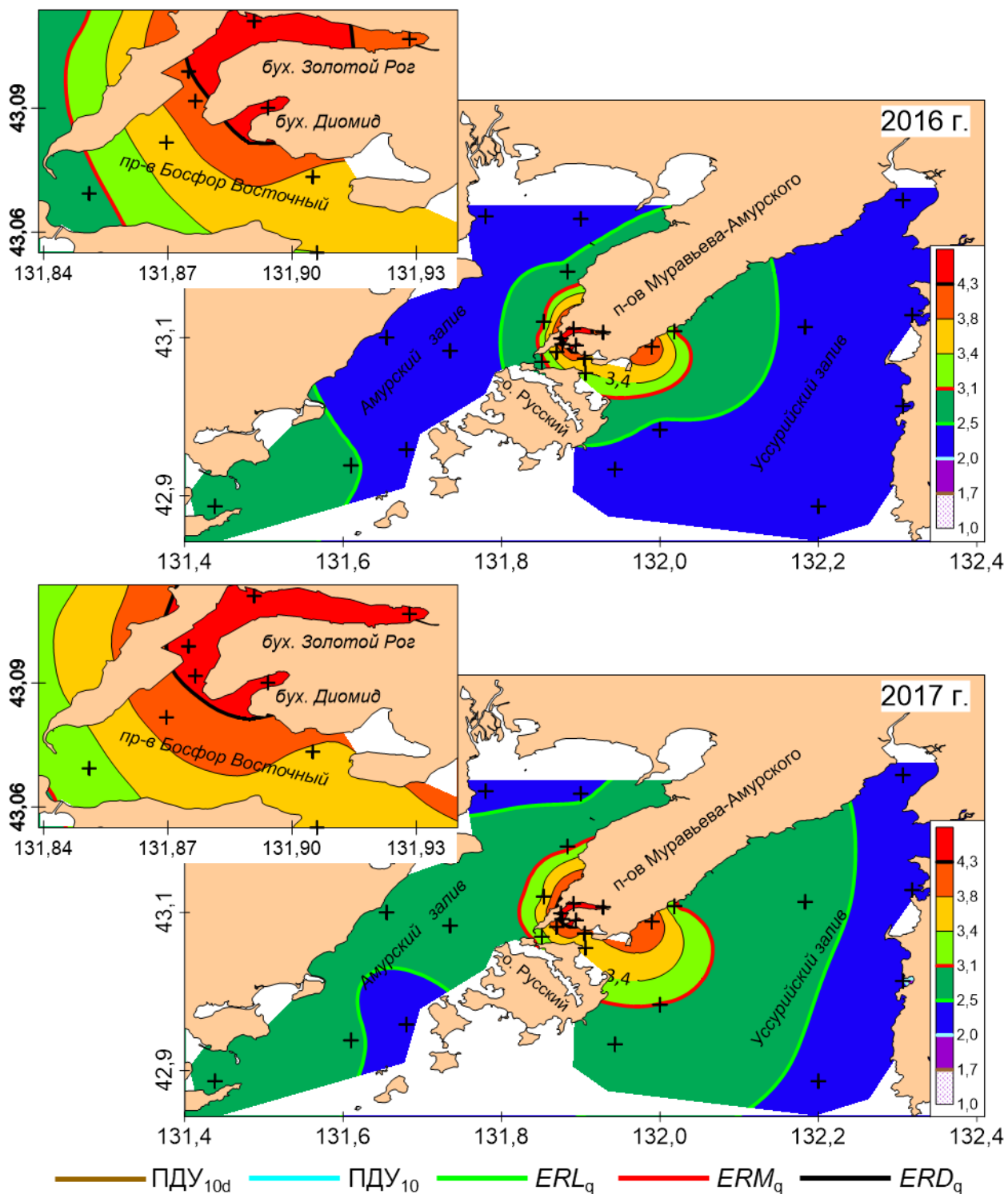


Рисунок 20 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

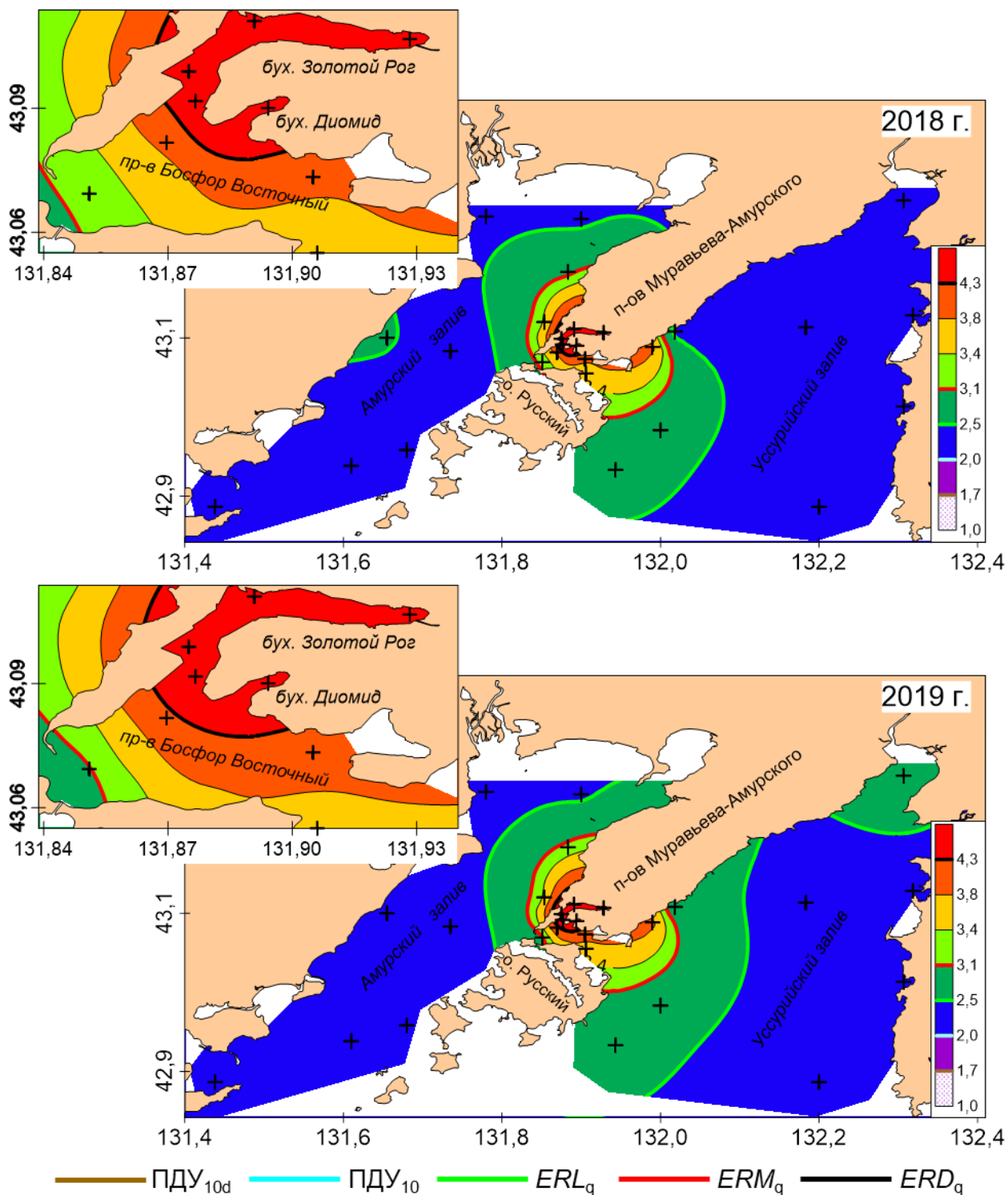


Рисунок 21 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

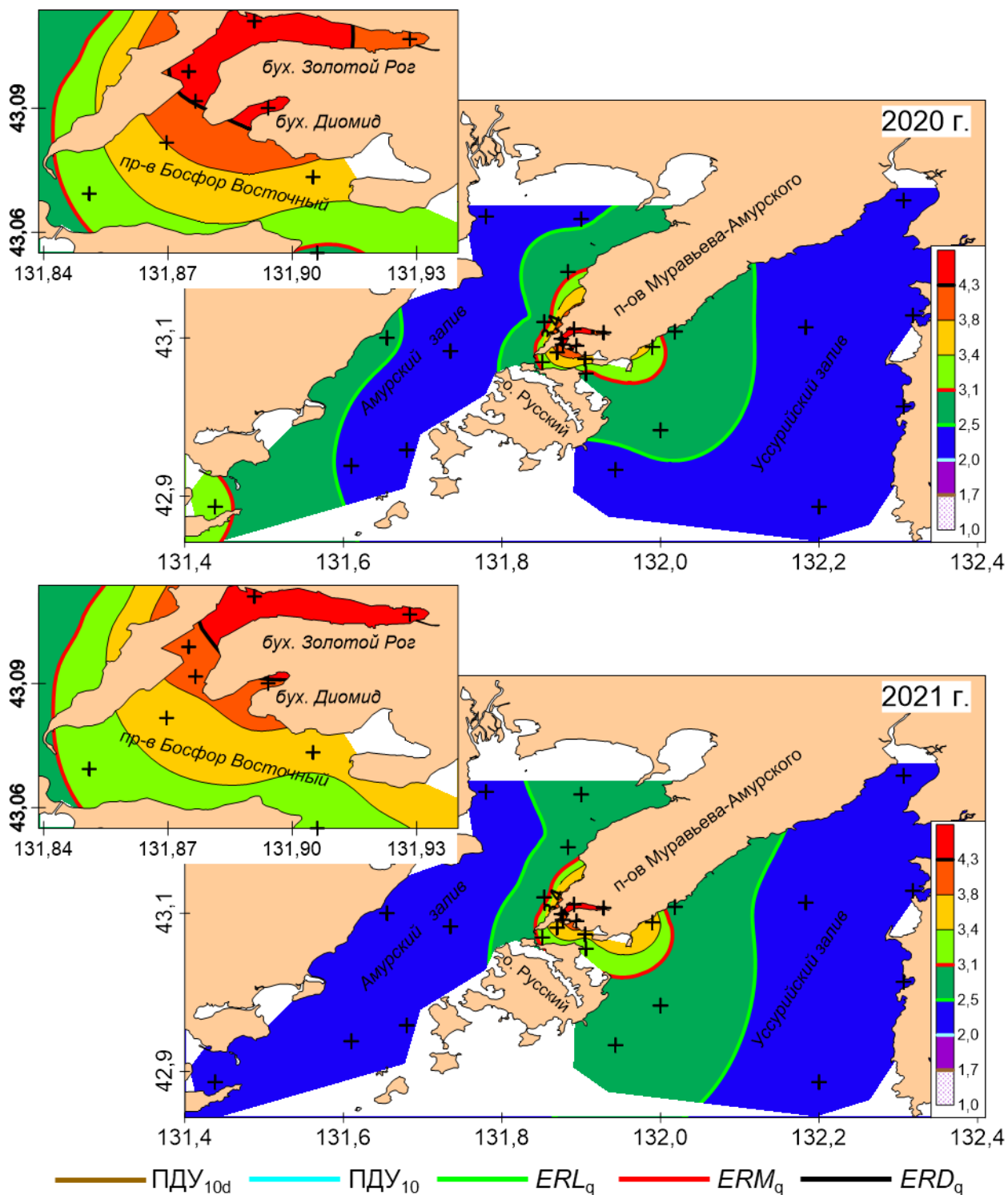


Рисунок 22 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

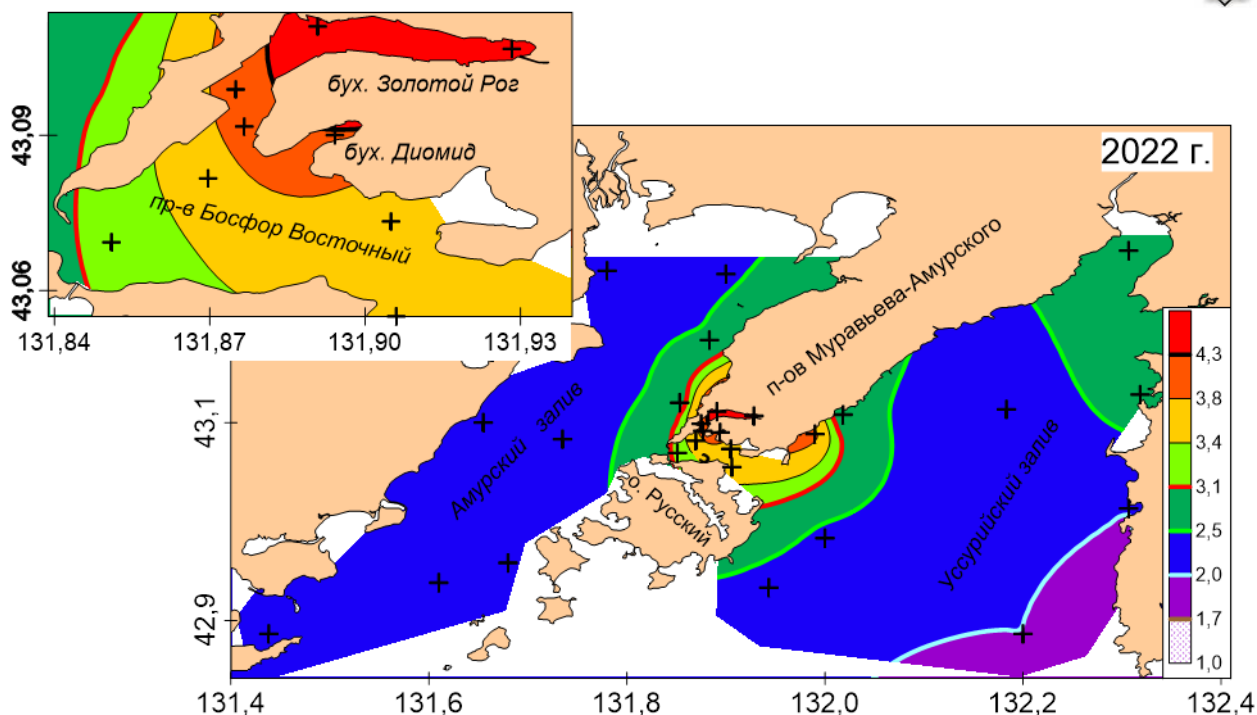


Рисунок 23 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) на прибрежных акваториях Владивостока

Итак, за исключением побережья Владивостока, в 1982–1985 гг. общий уровень загрязнения донных отложений (и соответственно морской среды) был ниже $ПДУ_{10}$ и даже ниже $ПДУ_{10}$ для десятиногих раков почти на всей акватории Амурского и Уссурийского заливов (2,0 и 1,7 усл. ед.; в Уссурийском заливе – до 1987 г., включительно) (рисунки 3–5). Затем экологическая ситуация последовательно ухудшалась вплоть до 2010 г., когда TPF_{chem} превысил ERL_q (2,5 усл. ед.) на большей части исследованной акватории, а во всей прибрежной зоне полуострова Муравьева-Амурского – и ERM_q (3,1 усл. ед.). Следовательно, оба залива оказались малопригодными для обитания подавляющего большинства донных гидробионтов.

К 2015 г. качество морской среды в районе мониторинга заметно улучшилось, что особенно заметно для Уссурийского залива, уровень загрязнения упал ниже ERL_q , а на части его акватории – и ниже $ПДУ_{10}$. Вероятно, это произошло из-за сдачи в эксплуатацию очистных сооружений, приуроченной к саммиту АТЭС, состоявшемуся во Владивостоке на острове Русский в 2012 г., а также закрытию свалки в бухте Горностай (Уссурийский залив) и сооружению над ней саркофага. В дальнейшем, общая ситуация с загрязнением донных отложений сохранялась примерно на одном уровне, но испытывала существенные пространственно-временные флуктуации, что обусловлено изменениями силы действия факторов и процессов, рассмотренных в начале данного раздела.

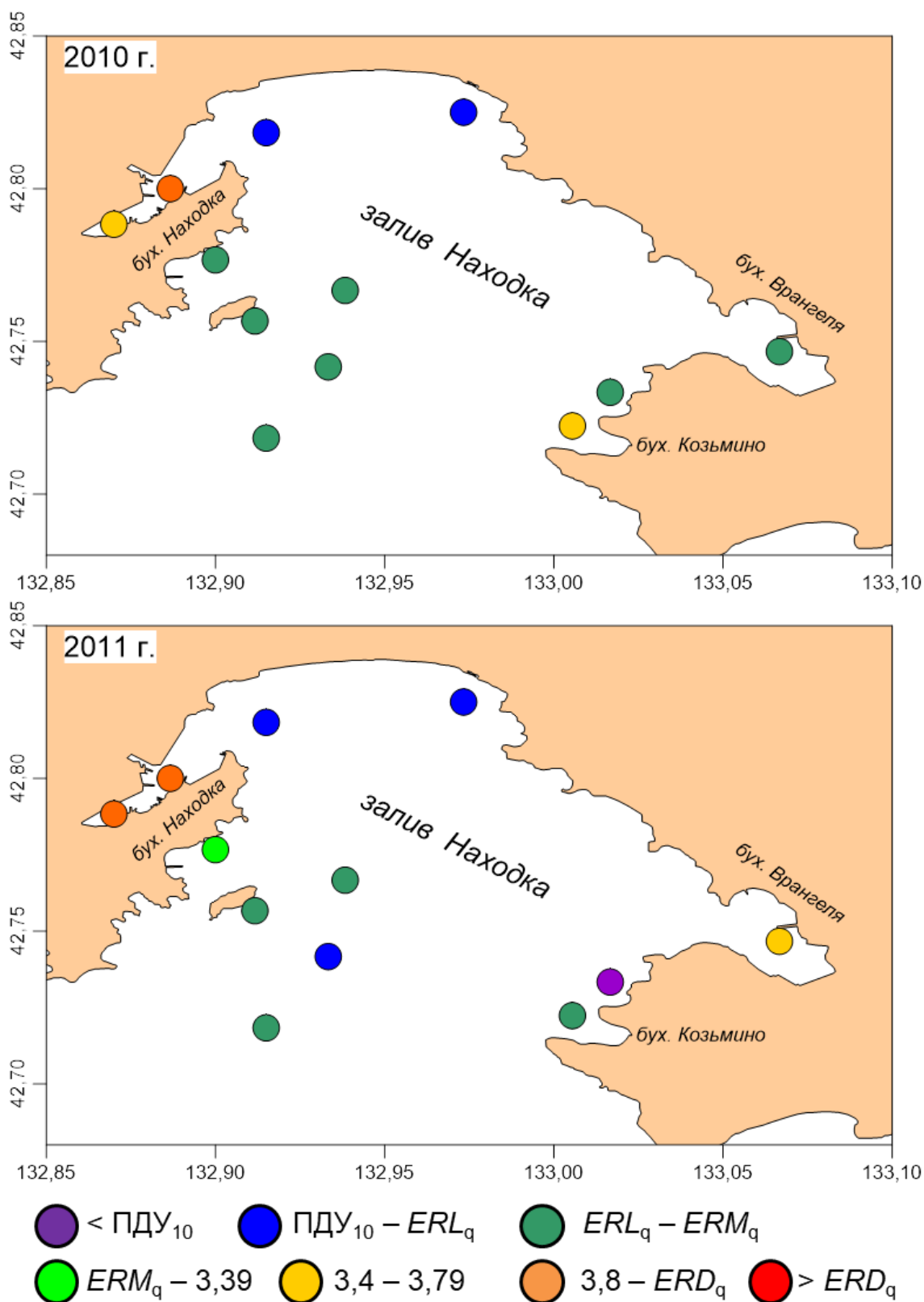


Рисунок 24 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) в заливе Находка

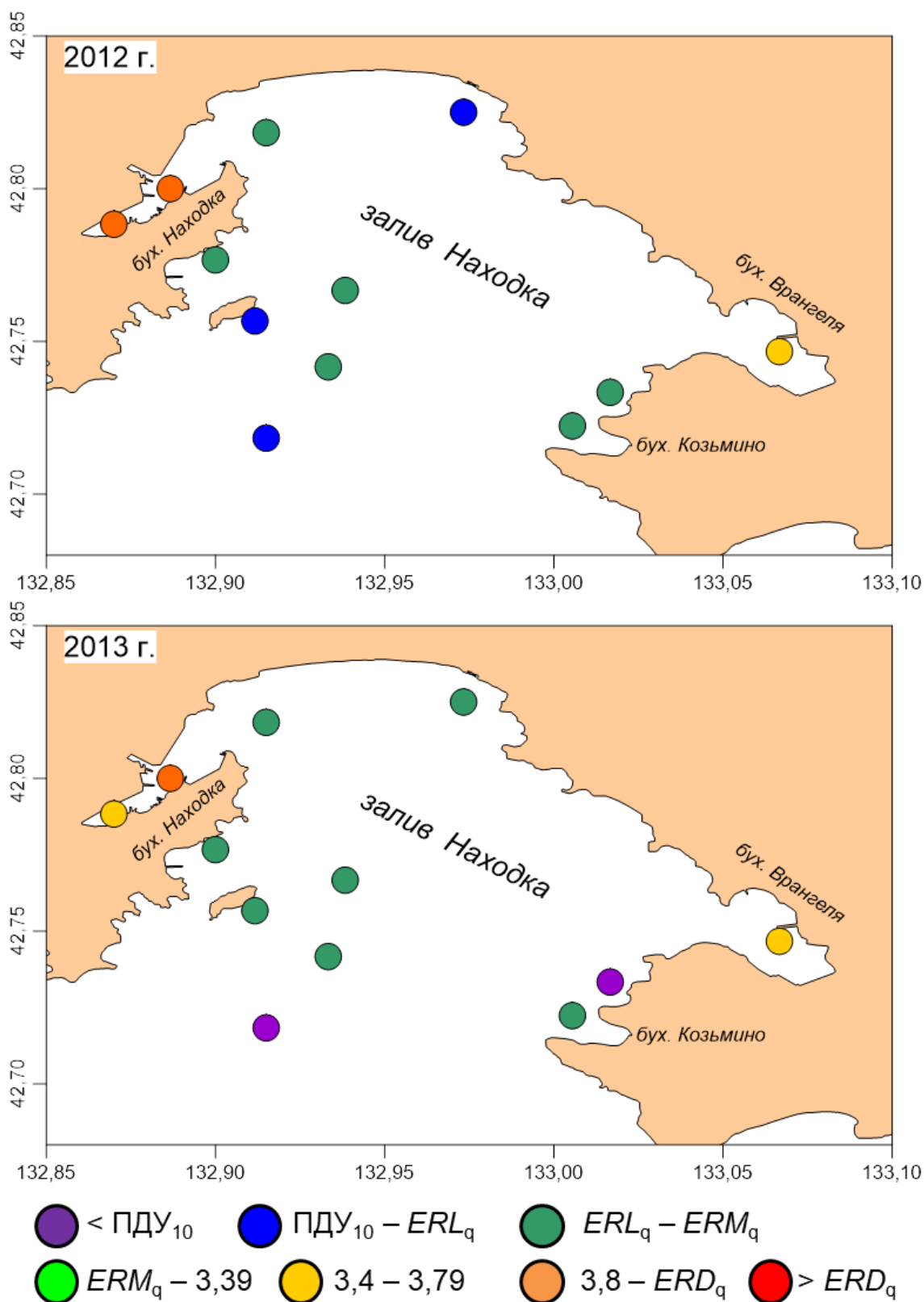


Рисунок 25 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) в заливе Находка

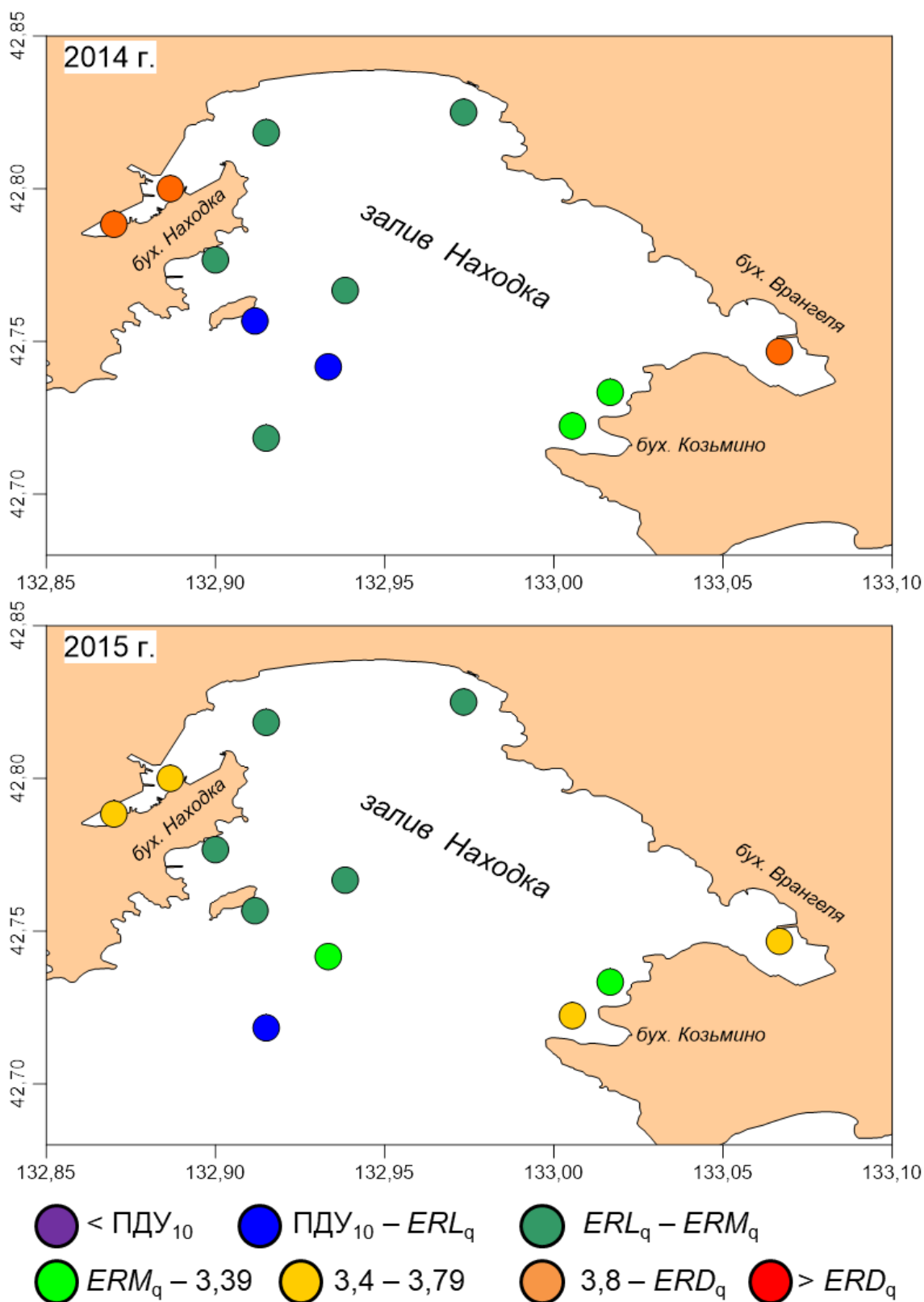


Рисунок 26 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) в заливе Находка

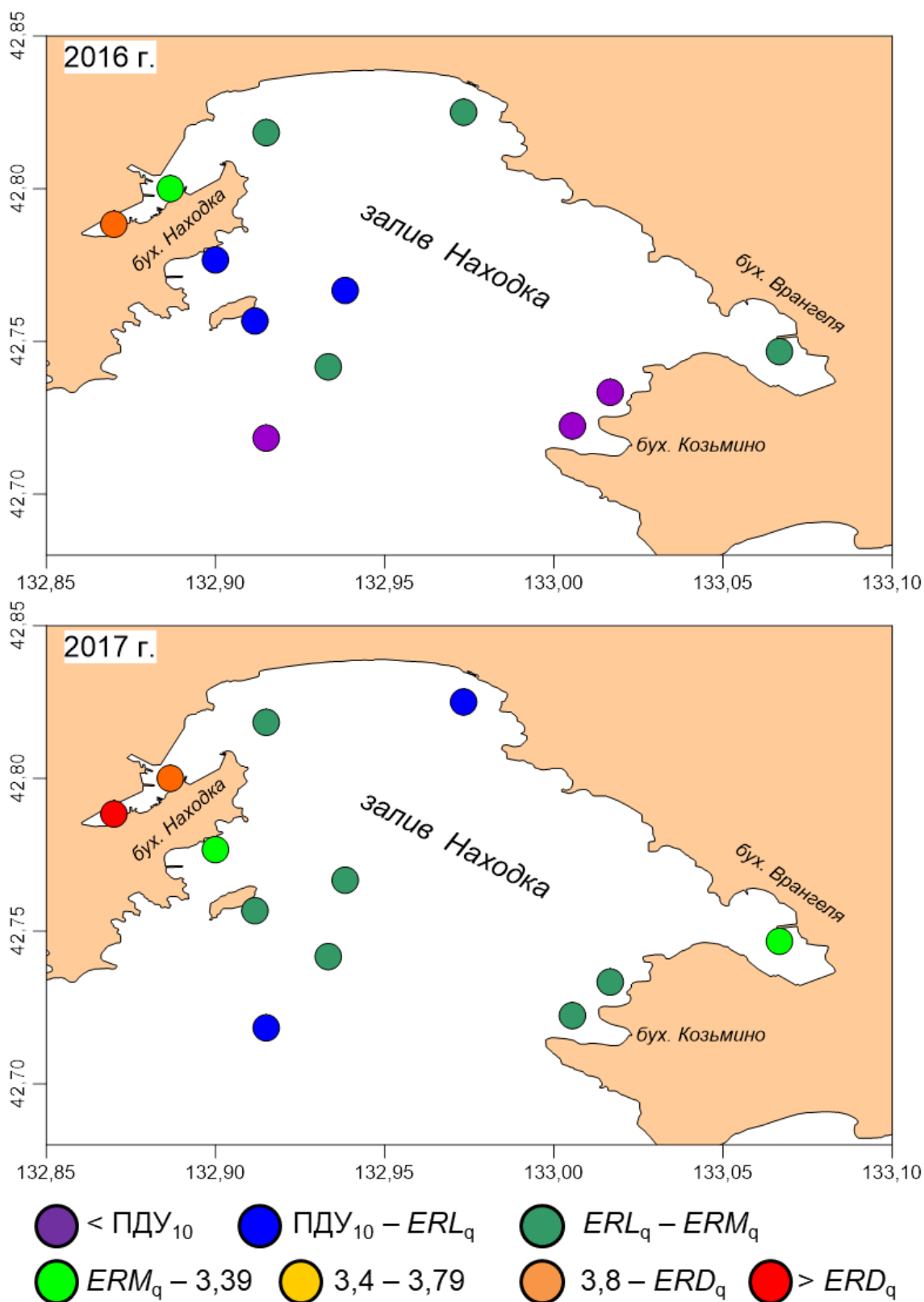


Рисунок 27 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) в заливе Находка

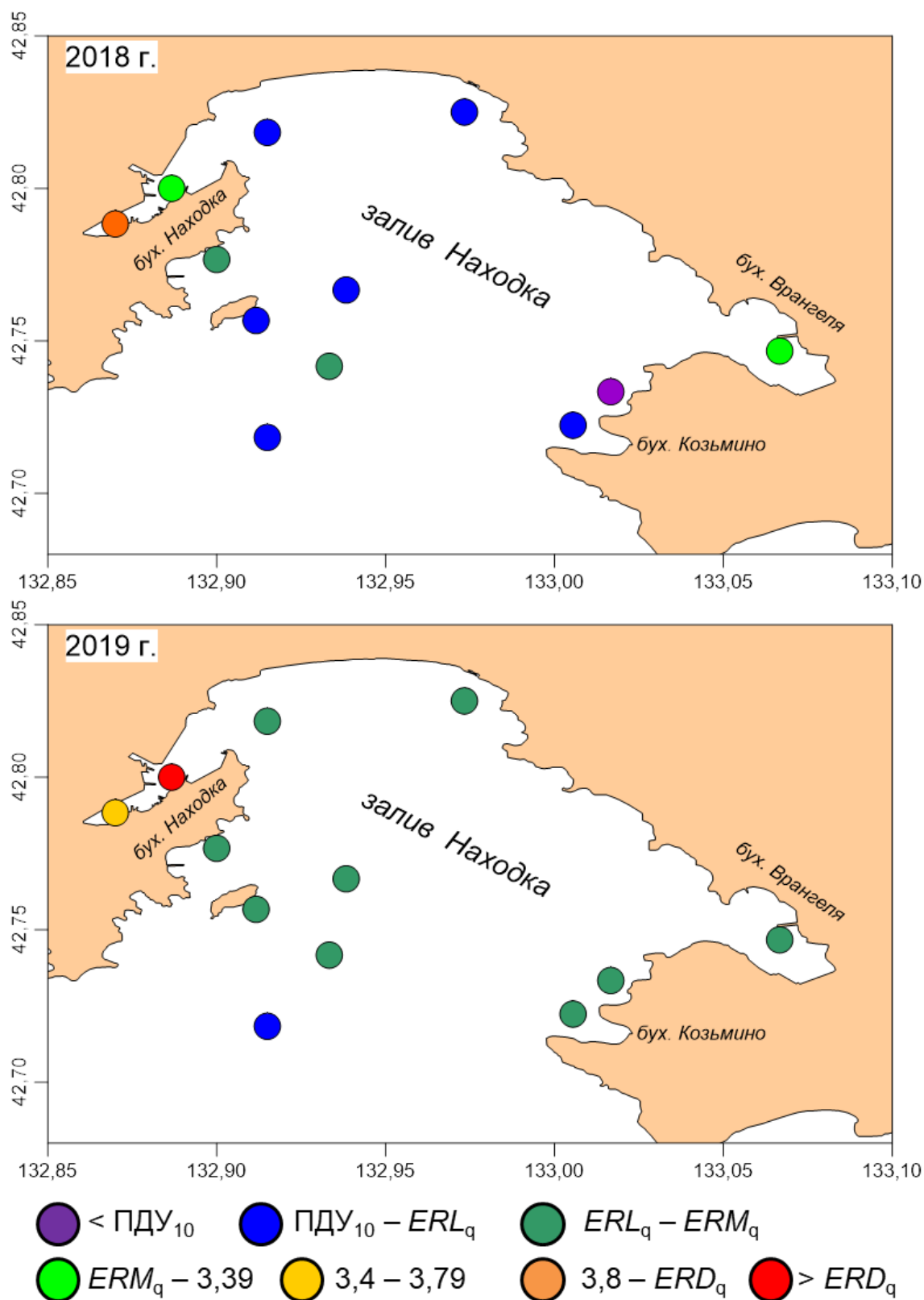


Рисунок 28 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) в заливе Находка

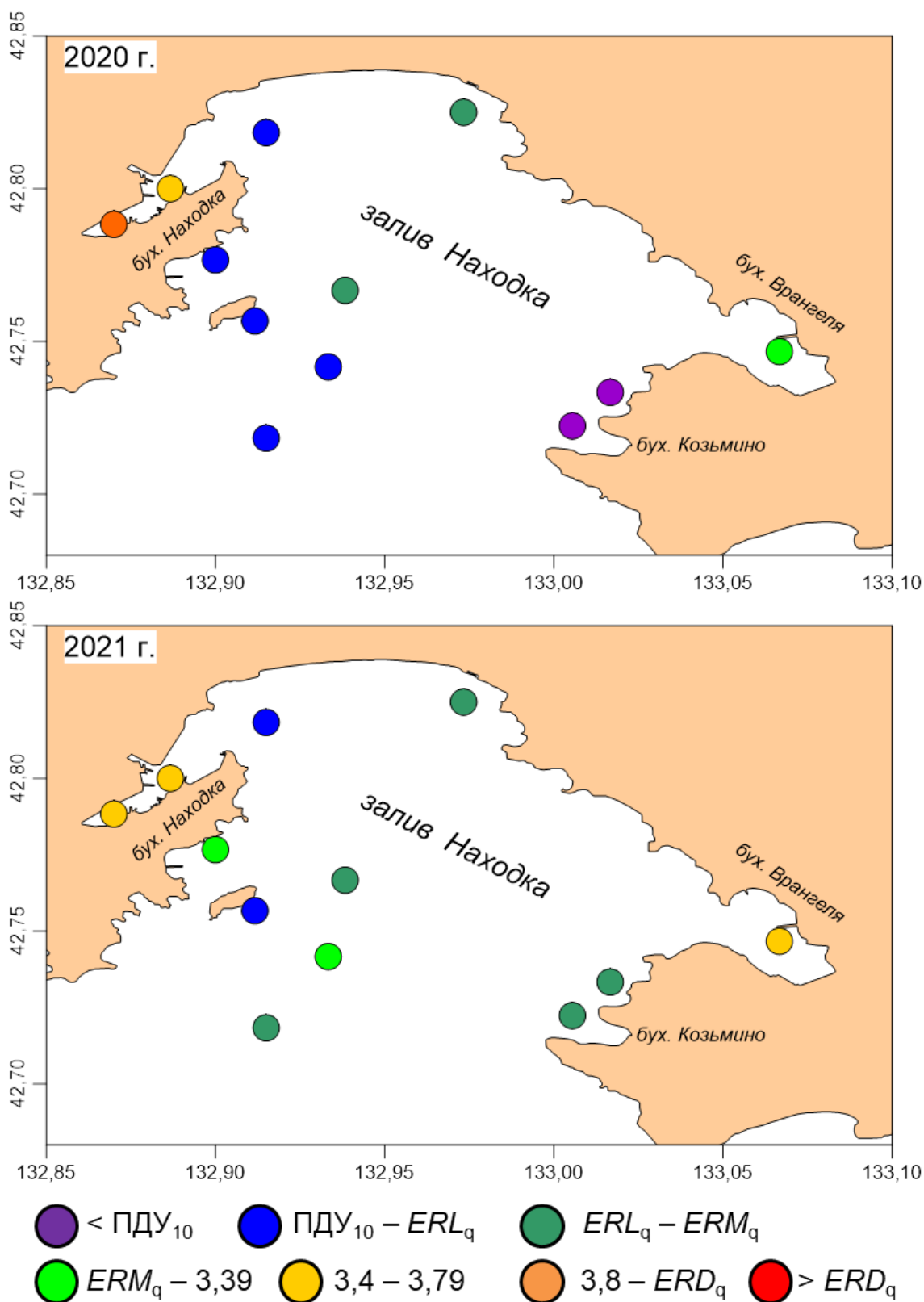


Рисунок 29 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) в заливе Находка

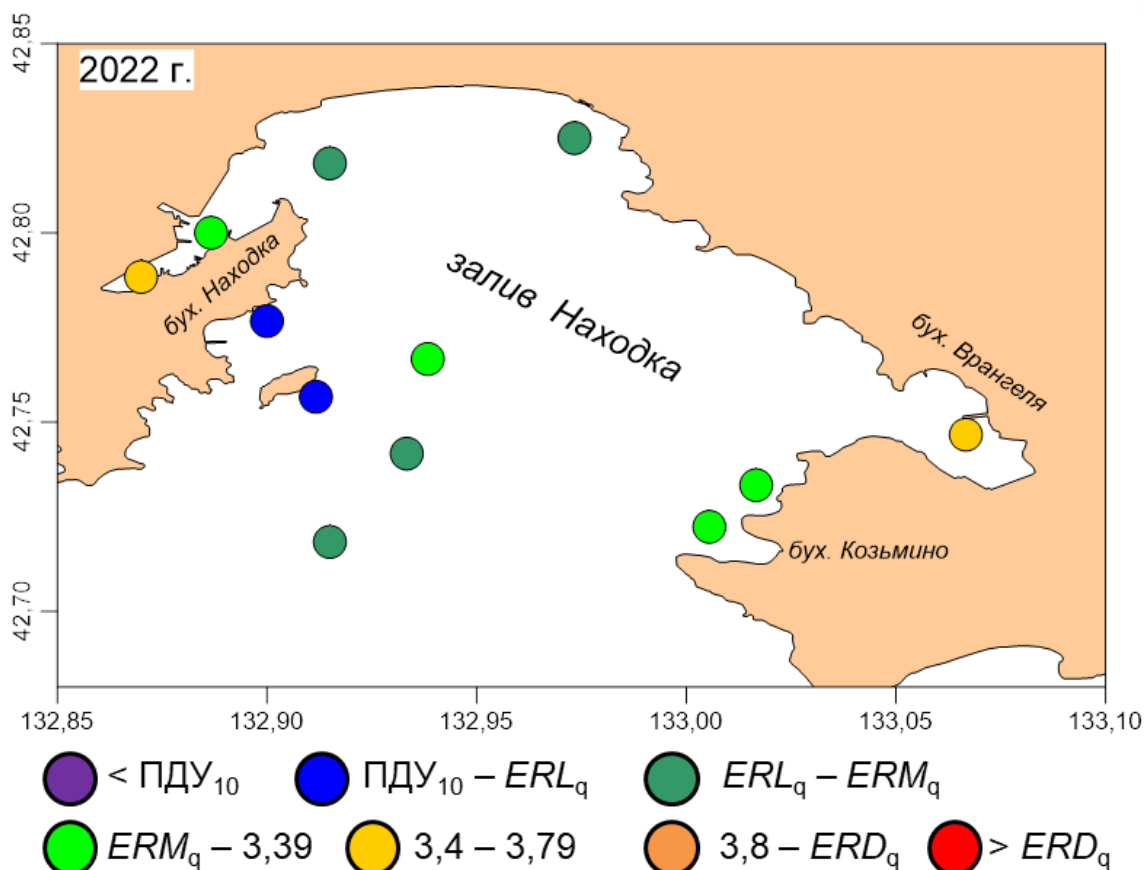


Рисунок 30 – Распределение общего уровня химического загрязнения донных отложений (TPF_{chem} , усл. ед.) в заливе Находка

Таким образом, как и на прибрежной акватории Владивостока, общий уровень химического загрязнения осадков в заливе Находка подвержен значительным пространственно-временным колебаниям (рисунки 24–30). Существенное и экстремальное загрязнение (соответственно выше ERM_q и ERD_q) характерно для бухт Находка и Врангеля. В остальной части залива в исследованный период значения TPF_{chem} варьировали в диапазоне от $ПДУ_{10}$ до 3,39 усл. ед., превышая ERM_q , но обычно лежали в пределах $ERL_q - ERM_q$ – т.е. в области прогрессивной деградации донного населения. Следовательно, качество морской среды в данном районе далеко от благополучного уровня для большинства гидробионтов, хотя степень снижения ее статуса (в экстремуме) явно не столь существенна, как у Владивостока.



СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Отчет ФГБУ «ДВНИГМИ» «Разработка метода определения допустимого уровня химического загрязнения осадков на основе структурных изменений макрозообентоса». – 2023. – 91 с. – URL: http://ferhri.org/images/stories/FERHRI/NIR/Otchet/otchet_4.6.2_2023_moschenko.pdf (дата обращения 27.11.2024).
2. Черкинский С.Н., Красовский Г.Н. Нормативы гигиенические // Большая медицинская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. Б.В. Петровский. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1981. – Т. 17: Ниландера – Проба. – С. 73–74. – 512 с.
3. Словари и энциклопедии на Академике // URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1396901>. Дата обращения: 19.07.2023.
4. Экология (справочник) // URL: <https://ru-ecology.info/index/>. Дата обращения: 19.07.2023.
5. Эко-словарь // URL: <http://www.ecocommunity.ru/term.php?id=1635>. Дата обращения: 19.07.2023.
6. Красилов В.А. Охрана природы: принципы, проблемы, приоритеты. – М.: Институт охраны природы и заповедного дела, 1992. – 174 с.
7. Отчет ФГБУ «ДВНИГМИ» «Проверка возможности применения в практике экологического мониторинга общих характеристики наиболее представительных таксономических групп макрозообентоса». – 2023. – 76 с. – URL: http://www.ferhri.ru/images/stories/FERHRI/NIR/Otchet/otchet_4.6.2_2022_moschenko.pdf (дата обращения 27.11.2024).
8. РД 52.10.556-95. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. – М.: Гидрометеоздат, 1996. – 49 с.
9. Belan T.A., Moshchenko A.V. Polychaete taxocenes variability associated with sediment pollution loading in the Peter the Great Bay (the East Sea/Japan Sea) // *Ocean Science J.* – 2005. – Vol. 40, No. 1. – P. 1–10.
10. РИД «Программа для вычисления общего уровня химического загрязнения донных отложений» – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024661162. – URL: <https://fips.ru/EGD/e7d9e247-9044-45fc-a69e-c438800d0886> (дата обращения 27.11.2024).
11. Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В. Современное загрязнение донных отложений и экологическое состояние макрозообентоса в прибрежной зоне Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // *Изв. ТИНРО.* – 2019. – Т. 196. – С. 155–181.



12. Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В. Основные тенденции временного хода концентраций приоритетных поллютантов в осадках прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. – 2021. – Т. 201, вып. 2. – С. 440–457.

13. Мощенко А.В., Белан Т.А., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В., Борисов Б.М. Многолетняя динамика концентраций приоритетных поллютантов и общего уровня химического загрязнения прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. – 2020. – Т. 200, вып. 2. – С. 377–400.