



## ГЕОГРАФИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 631.4(262.81)+579

### ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И ХАРАКТЕРА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (CO, ZN, PB, CD, NI, CU) В АКВАТОРИИ АГРАХАНСКОГО ЗАЛИВА

### EVALUATION OF CONTENT AND NATURE OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF HEAVY METALS (CO, ZN, PB, CD, NI, CU) IN THE WATER AREA OF AGRAKHANSKY BAY

*Г.М. Абдурахманов, А.А. Гаджиев, Э.М. Меджидова, Ш.М. Самудов, Ю.Г. Юсупов*  
*G.M. Abdurakhmanov, A.A. Gadzhiev, E.M. Medzhidova, Sh.M. Samudov, Yu.G. Yusupov*

Дагестанский государственный университет,  
ул. Дахадаева, 21, Махачкала, Республика Дагестан 367001 Россия  
Dagestan State University,  
Dakhadaev str., 21, Makhachkala, Republic of Dagestan 367001 Russia

**Резюме.** В статье приводятся данные по содержанию и характеру пространственного распределения тяжелых металлов (Co, Zn, Pb, Cd, Ni, Cu) в акватории Аграханского залива. С помощью ГИС-пакета MapInfo построены карты пространственного распределения тяжелых металлов.

Результаты наблюдений показали, что тяжелые металлы присутствовали на всех пробах воды. За исключением кобальта, пространственное распределение тяжелых металлов характеризовалась крайней неоднородностью. Количество меди изменялось в пределах 0–0,0063 мг/л при величине ПДК для рыбохозяйственных водоемов 0,001мг/л. В период исследований количество свинца в воде в основном находилось в пределах 0–0,0083 мг/л. Содержание никеля, так же как и кадмия, не выходит за пределы допустимых концентраций и меняется в пределах 0,00052–0,01 и 0–0,0028.

В результате анализов летних съемок проб северной части Аграханского залива было выявлено катастрофически высокое содержание цинка в воде. Содержание в воде станций отбора проб 11, 12 и 16 колебалось от 19,45 мг/л до 21,8 мг/л при ПДК<sub>рх</sub> 0,01 мг/л (превышение ПДК<sub>рх</sub> более 2000 раз).

**Abstract.** The article presents data on the content and nature of the spatial distribution of heavy metals (Co, Zn, Pb, Cd, Ni, Cu) in the waters of the Agrakhanskiy Gulf.

**Ключевые слова:** Аграханский залив, тяжелые металлы, карты пространственное распределение, загрязнение.

**Key words:** Agrakhan Bay, heavy metals, spatial distribution, pollution.

### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия экосистемы заливов северо-западной части Каспийского моря подверглись мощным антропогенным воздействиям. Из всех водоемов низовья реки Терек наибольшей освоенностью водосборной площади и степенью антропогенного загрязнения отличается Аграханский залив. В настоящее время Аграханский залив разделен руслом Терека на две изолированные части – северную (имеющую связь с морем) и южную (фактически превратившуюся в озеро).

Одним из наиболее объективных и надежных показателей загрязнения водоема и общей антропогенной нагрузки на него является содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях. Тяжелые металлы в окружающей среде находятся в непрерывном процессе миграции. После поступления в водную среду металлы, как правило, изменяют физико-химическую форму, рассеиваются и переносятся под воздействием гидродинамических процессов и адсорбируются и накапливаются в донных осадках. Впоследствии металлы, являясь составной частью донных отложений, попадают в организмы бентоса,

далее рыб и по трофическим цепям – в пищу человека и могут накапливаться в костях и тканях.

Цель нашего исследования – оценка содержания и характера пространственного распределения шести тяжелых металлов (кобальт, цинк, свинец, кадмий, никель, медь) в акватории Аграханского залива.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу настоящей работы положены собственные материалы, полученные в ходе исследований, проводившихся на территории Аграханского залива. Пробы отбирались осенью 2012 и весной и летом 2013 года по установленной сетке с шагом 3,5 км. По всему периметру залива было отмечено 16 станций (рис. 1). Координаты станций и краткая характеристика донных отложений приводятся в таблице 1.

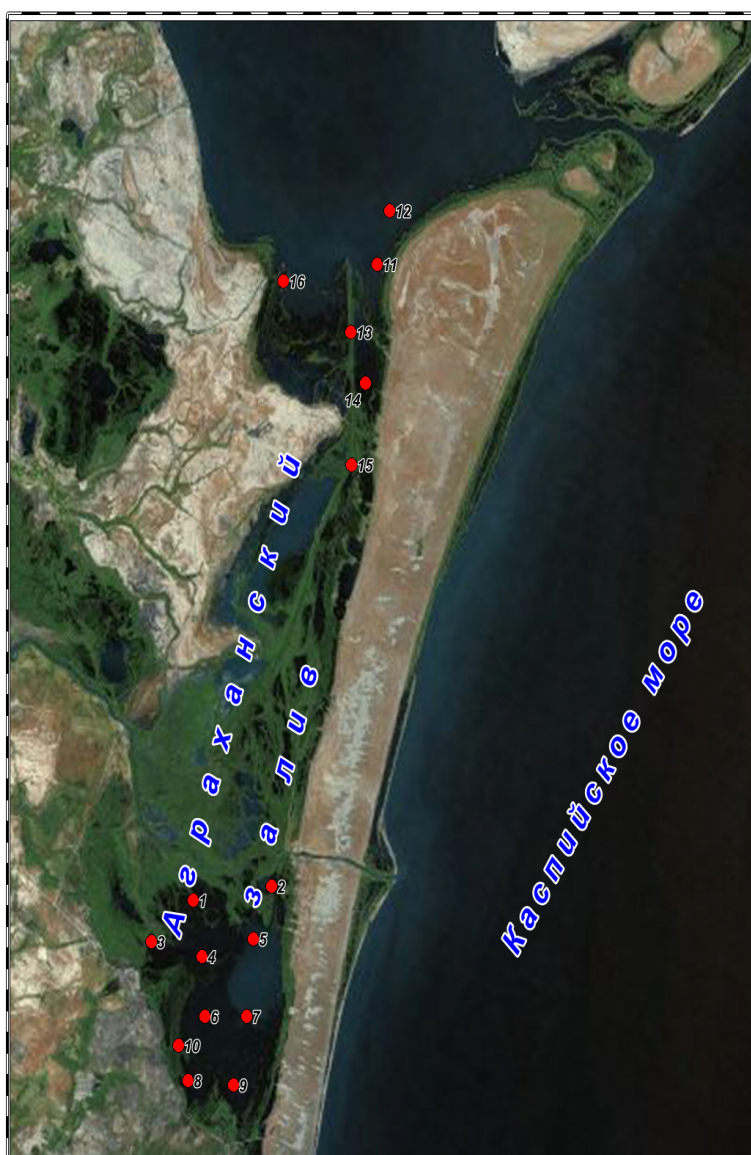


Рис. 1. Карта станций отбора проб



Таблица 1

**Координаты станций отбора проб и краткая характеристика  
донных отложений**

| № станции             | Широта, N | Долгота, E | Дно                        |
|-----------------------|-----------|------------|----------------------------|
| Южная часть залива    |           |            |                            |
| 1                     | 43,35,102 | 47,24,808  | ил                         |
| 2                     | 43,35,477 | 47,28,251  | ил, песок, ракушек мало    |
| 3                     | 43,34,006 | 47,22,962  | ил, песок                  |
| 4                     | 43,33,598 | 47,25,182  | песок, глина, ракушек мало |
| 5                     | 43,34,059 | 47,27,427  | ил, песок, ракушки         |
| 6                     | 43,32,017 | 47,25,296  | глина, песок               |
| 7                     | 43,32,009 | 47,27,162  | глина, песок               |
| 8                     | 43,30,299 | 47,24,562  | песок, глина               |
| 9                     | 43,30,189 | 47,26,572  | глина                      |
| 10                    | 43,31,238 | 47,24,147  | ил                         |
| Северная часть залива |           |            |                            |
| 11                    | 43,51,934 | 47,32,882  | песок, ракушечник, глина   |
| 12                    | 43,53,349 | 47,33,445  | песок, ракушечник, глина   |
| 13                    | 43,50,150 | 47,31,717  | глина                      |
| 14                    | 43,48,795 | 47,32,355  | глина, песок               |
| 15                    | 43,46,632 | 47,31,756  | глина, песок               |
| 16                    | 43,51,482 | 47,28,769  | глина, песок               |

В ходе выполнения исследований использовались современные физико-химические методы количественного химического анализа, регламентированные нормативной документацией, утвержденной в установленном порядке для мониторинга и экологического контроля. Измерение массовой концентрации растворенных форм тяжелых металлов (кобальт, цинк, свинец, кадмий, никель, медь) проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием атомно-абсорбционного спектрометра с электротермической атомизацией «МГА-915МД». Концентрационные диапазоны методики охватывают все установленные ПДК и позволяют проводить измерение содержания элементов на уровнях, максимально близких к реально существующим в природных водах. Это дает возможность оценивать состояние водных объектов и наблюдать за его изменениями, а также решать ряд прикладных задач (расчет фоновых концентраций, трансграничных переносов, выноса веществ в моря и др.). Пробы воды отбирались в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85, значения сравнивались с нормативами, предъявляемыми к рыбохозяйственным водоемам.

Статистическая обработка, корреляционный анализ, а также визуализация полученных результатов проводились с помощью пакета программ Microsoft Excel.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки содержания и характера пространственного распределения шести тяжелых металлов (кобальт, цинк, свинец, кадмий, никель, медь) в акватории Аграханского залива был проведен статистический анализ и оценка полученных в ходе всех полевых и лабораторных исследований данных. Оценка качества воды по экологи-



токсикологическим показателям, основанная на определении уровня токсического загрязнения вод тяжелыми металлами, дала представление о потенциальной токсичности водных масс (уровень токсического загрязнения) Аграханского залива (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Концентрация ТМ в пробах воды в южной части Аграханского залива**

| Показатель<br>(мг/л)                          | Станции |         |         |         |         |         |          |         |         |         |
|-----------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
|                                               | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7        | 8       | 9       | 10      |
| <i>Осенние<br/>съёмки<br/>2012 г.<br/>Со</i>  | 0,0073  | 0,0064  | 0,0036  | 0,0068  | 0,004   | 0,0042  | 0,0095   | 0,0069  | 0,0058  | 0,024   |
| Zn                                            | 0,0065  | 0,0054  | 0,0015  | 0,0002  | 0,0054  | 0,0028  | 0,0004   | 0,0039  | 0,0007  | 0       |
| Pb                                            | 0       | 0,006   | 0,008   | 0       | 0,012   | 0       | 0,004    | 0       | 0,0083  | 0,0048  |
| Cd                                            | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0,0028  | 0        | 0,0013  | 0,0021  | 0       |
| Ni                                            | 0,0049  | 0,0075  | 0,0013  | 0,009   | 0,0075  | 0,0019  | 0,006    | 0,0025  | 0,0055  | 0,0095  |
| Cu                                            | 0,0024  | 0,003   | 0,0027  | 0,0011  | 0,0038  | 0,0028  | 0,003    | 0,0063  | 0,0014  | 0,0024  |
| <i>Весенние<br/>съёмки<br/>2013 г.<br/>Со</i> | 0,00017 | 0       | 0,00004 | 0,00005 | 0       | 0       | 0        | 0       | 0       | 0,00002 |
| Zn                                            | 0       | 0,0005  | 0,00002 | 0,00002 | 0,00003 | 0,00003 | 0,00003  | 0,00006 | 0       | 0,00002 |
| Pb                                            | 0       | 0,00002 | 0,00008 | 0       | 0       | 0       | 0        | 0       | 0       | 0       |
| Cd                                            | 0,00008 | 0,00005 | 0,00003 | 0,00001 | 0,00003 | 0,00001 | 0,000009 | 0,00001 | 0       | 0,00001 |
| Ni                                            | 0,00092 | 0,0013  | 0,0013  | 0,0011  | 0,00091 | 0,00081 | 0,001    | 0,00052 | 0,0007  | 0,00056 |
| Cu                                            | 0,00061 | 0,00105 | 0,00024 | 0,0004  | 0,00048 | 0,00016 | 0,00036  | 0       | 0       | 0       |
| <i>Летние<br/>съёмки<br/>2013 г.<br/>Со</i>   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0        | 0       | 0       | 0       |
| Zn                                            | 0,3383  | 0,1692  | 0,0926  | 0,0622  | 0,0561  | 0,0456  | 0,0442   | 0,284   | 0,0307  | 0,0194  |
| Pb                                            | 0,00024 | 0,00023 | 0,00007 | 0,00012 | 0,00007 | 0,00028 | 0,00022  | 0,00023 | 0,00013 | 0,00021 |
| Cd                                            | 0,00002 | 0,00006 | 0,00003 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00002 | 0,00001  | 0,00006 | 0,00002 | 0,00009 |
| Ni                                            | 0,00062 | 0,00077 | 0,00064 | 0,0015  | 0,00073 | 0,00071 | 0,00068  | 0,00046 | 0,00101 | 0,00067 |
| Cu                                            | 0,0017  | 0,0015  | 0,0023  | 0,0021  | 0,0024  | 0,0029  | 0,0033   | 0,0021  | 0,0031  | 0,00206 |

Таблица 3

**Концентрация ТМ в пробах воды в северной части Аграханского залива**

| Показатель<br>(мг/л)                  | Станции  |         |         |         |         |         |
|---------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                       | 11       | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      |
| <i>Осенние съёмки 2013 г.<br/>Со</i>  | 0,00018  | 0,00068 | 0,00018 | 0,0032  | 0,00075 | 0,0012  |
| Zn                                    | 0,001    | 0,001   | 0,001   | 0,001   | 0,001   | 0,0009  |
| Pb                                    | 0,0047   | 0,0081  | 0,0012  | 0,0011  | 0,0008  | 0,0014  |
| Cd                                    | 0,000039 | 0,00018 | 0,00043 | 0,00036 | 0,00029 | 0,00034 |
| Ni                                    | 0,0009   | 0,0027  | 0,0028  | 0,0027  | 0,003   | 0,0012  |
| Cu                                    | 0,00027  | 0,0011  | 0,0027  | 0,00067 | 0,0012  | 0,00083 |
| <i>Весенние съёмки 2013 г.<br/>Со</i> | 0        | 0,00037 | 0       | 0,00043 | 0,00006 | 0       |
| Zn                                    | 0,000081 | 0       | 0,00007 | 0       | 0       | 0       |
| Pb                                    | 0,00012  | 0       | 0,00003 | 0,0003  | 0,0022  | 0,00025 |



|                             |          |         |          |          |         |          |
|-----------------------------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|
| Cd                          | 0,000027 | 0,00026 | 0,00019  | 0,00028  | 0,00033 | 0,00004  |
| Ni                          | 0,0017   | 0,00315 | 0,002    | 0,0013   | 0,0026  | 0,0034   |
| Cu                          | 0,00005  | 0       | 0,00028  | 0,00016  | 0,0011  | 0,00054  |
| Летние съёмки 2013 г.<br>Co | 0        | 0,00048 | 0        | 0        | 0       | 0        |
| Zn*                         | 19,45    | 20,58   | 0,4295   | 0,2232   | 0,1325  | 21,8     |
| Pb                          | 0,0042   | 0,0053  | 0,00005  | 0,0001   | 0,00009 | 0,0042   |
| Cd                          | 0,00031  | 0,00012 | 0,000054 | 0,000061 | 0,00013 | 0,000053 |
| Ni                          | 0,0061   | 0,0025  | 0,0008   | 0,0004   | 0,0004  | 0,0027   |
| Cu                          | 0,00081  | 0,0017  | 0,0013   | 0,0015   | 0,0022  | 0,00059  |

По полученным результатам для удобства интерпретации данные лабораторных анализов проиллюстрированы в биржевых диаграммах отдельно для южной и северной частей Аграханского залива, отражающих максимальные, минимальные и средние значения за весь период исследований (октябрь 2012 – сентябрь 2013 года).

**Кобальт.** За период с ноября 2012 по август 2013 года наблюдалось заметное снижение содержания кобальта в обеих частях залива. Максимальные содержания кобальта в южной части не превышали 0,0095 мг/л (рис. 2), а в северной части 0,00075 мг/л (рис. 3).

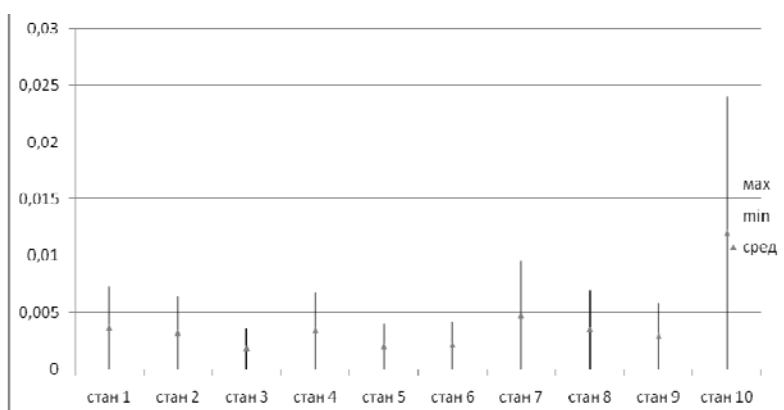


Рис. 2. Изменение содержания кобальта в южной части Аграханского залива за весь период исследований

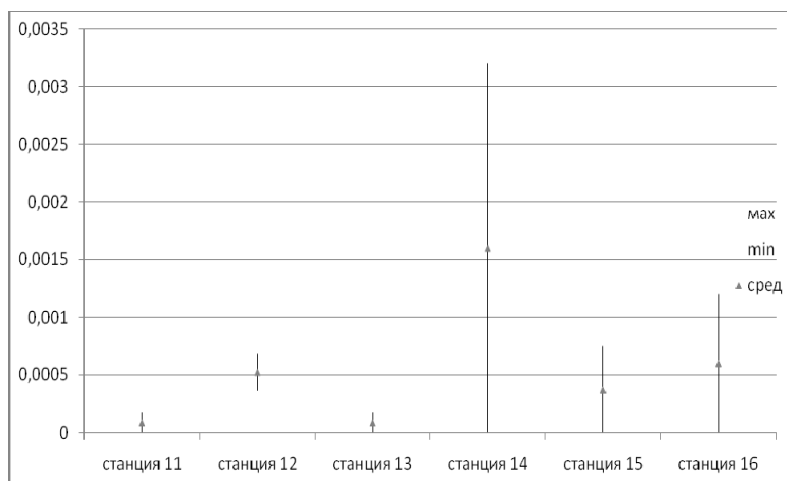
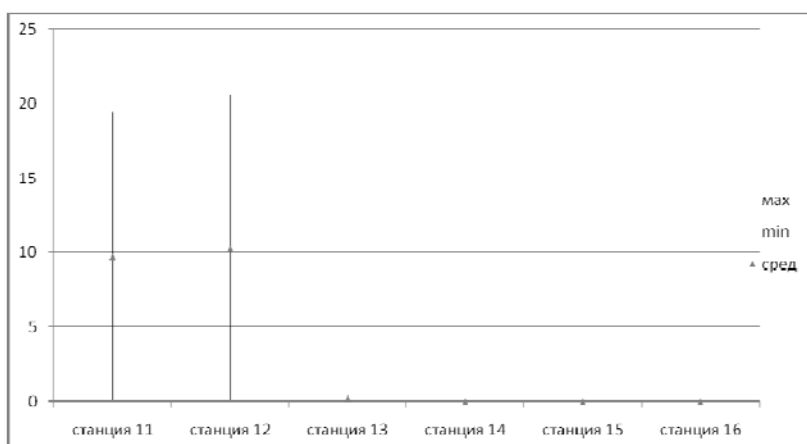


Рис. 3. Изменение содержания кобальта в северной части Аграханского залива за весь период исследований

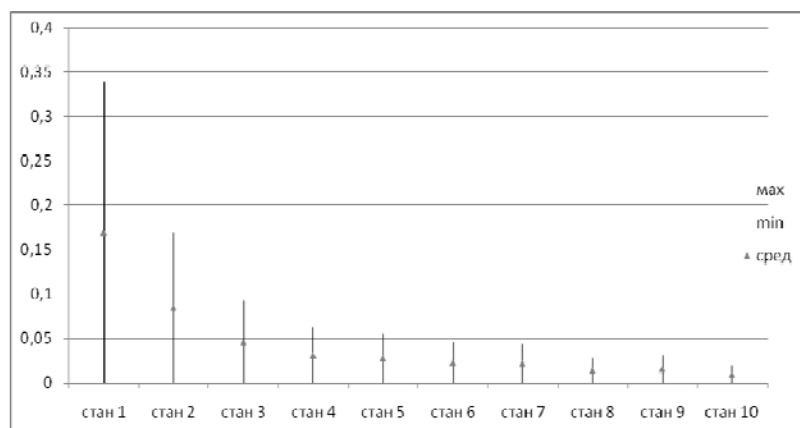


**Цинк.** В результате анализов летних съемок проб в северной части Аграханского залива было выявлено катастрофически высокое содержание цинка в воде, которое колебалось в станциях отбора проб 11, 12 и 16 от 19,45 мг/л до 21,8 мг/л при ПДКрх 0,01 мг/л. Превышение ПДКрх – более 2000 раз (рис. 4). Также для выявления акватории загрязнения были дополнительно проанализированы пробы воды из района островов Тюлений и Чечень. Анализы показали, что концентрации с отдалением от залива уменьшаются – 9,8 мг/л в районе о. Чечень и 8,1 мг/л в районе о. Тюлений, но остаются высокими, и превышение ПДКрх составляет 980 и 800 раз.

В южной части залива концентрации цинка изменялись в пределах 0–0,3383 мг/л (рис. 5). Превышение ПДКрх в летний период наблюдается на всех станциях.

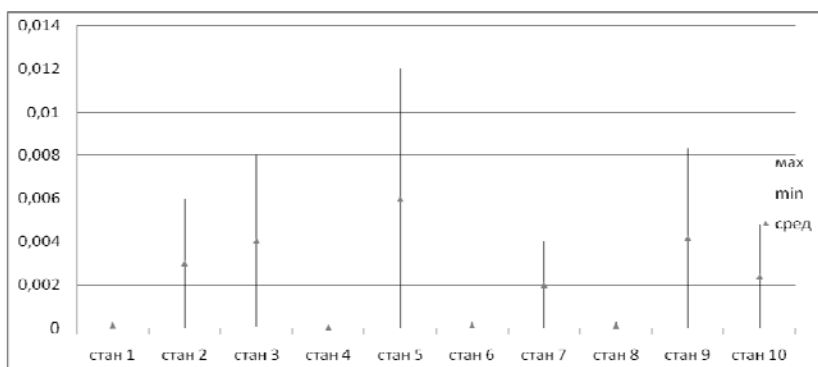


**Рис. 4.** Изменение содержания цинка в северной части Аграханского залива за весь период исследований

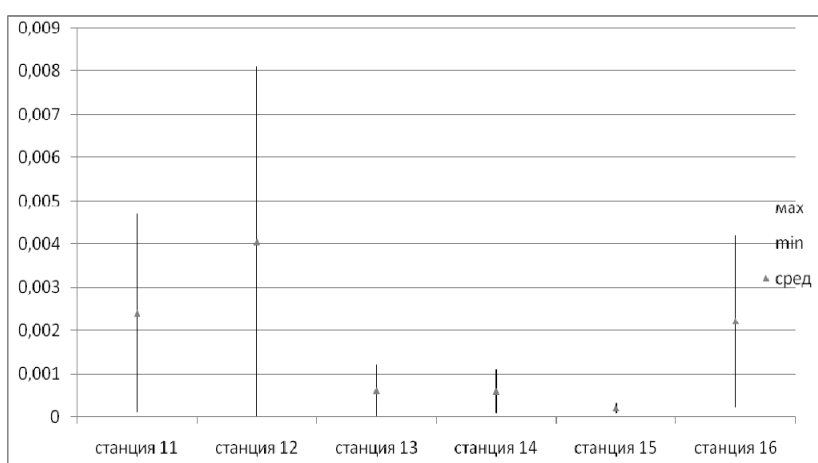


**Рис. 5.** Изменение содержания цинка в южной части Аграханского залива за весь период исследований

**Свинец.** В период исследований количество свинца в воде в основном находилось в пределах 0–0,0083 мг/л. Незначительное превышение ПДКрх, как видно из рисунка 6, наблюдается в южной части, в районе станции 5. В северной части содержание свинца не превышает допустимых значений (рис. 7).

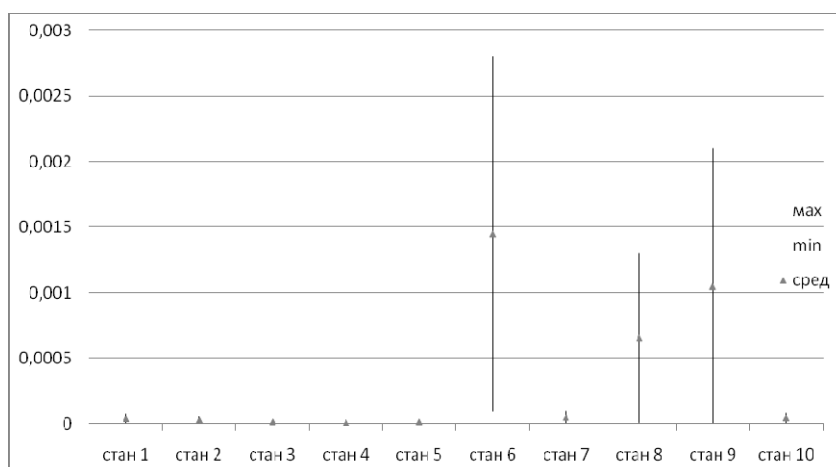


**Рис. 6.** Изменение содержания свинца в южной части Аграханского залива за весь период исследований

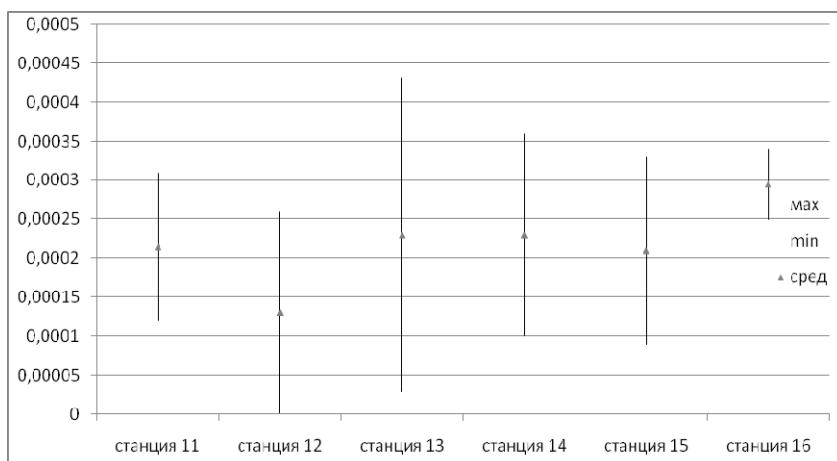


**Рис. 7.** Изменение содержания свинца в северной части Аграханского залива за весь период исследований

**Кадмий.** Содержание кадмия не выходит за пределы допустимых концентраций и меняется в пределах 0–0,0028 мг/л. Максимальные значения характерны для южной части на станции 6 (рис. 8), для северной на станции 13 (рис. 9).

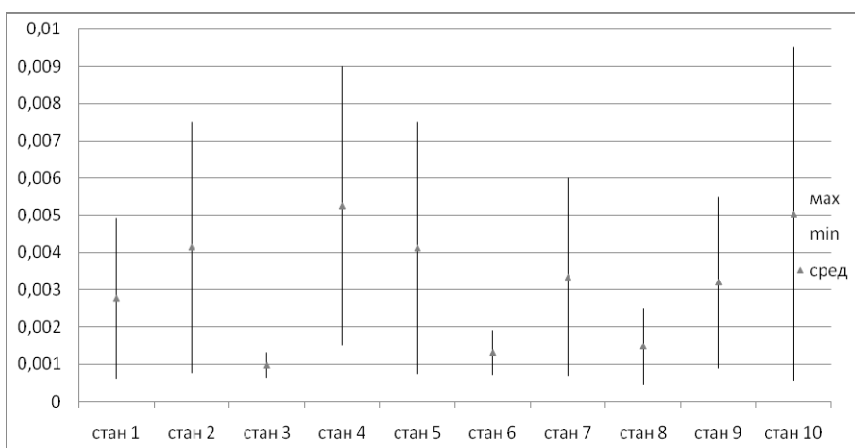


**Рис. 8.** Изменение содержания кадмия в южной части Аграханского залива за весь период исследований

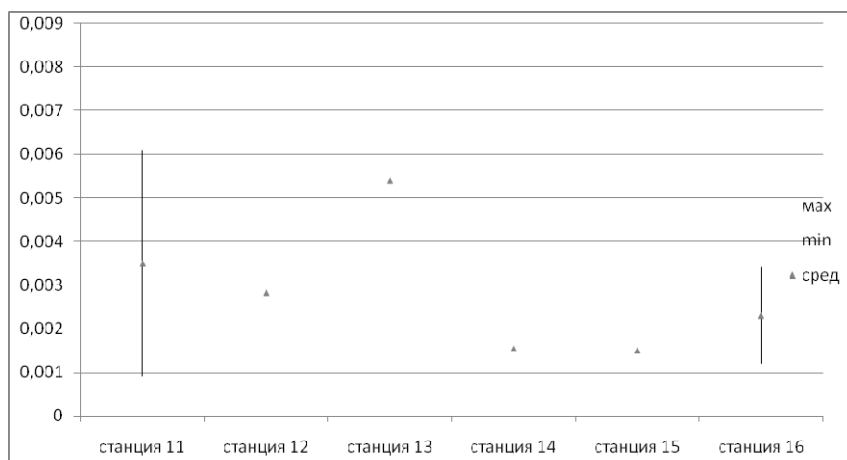


**Рис. 9.** Изменение содержания кадмия в северной части Аграханского залива за весь период исследований

**Никель.** По результатам анализов, содержание никеля в пробах невысокое и изменяется в пределах 0,0004–0,0095 мг/л (рис. 10, 11).



**Рис. 10.** Изменение содержания никеля в южной части Аграханского залива за весь период исследований

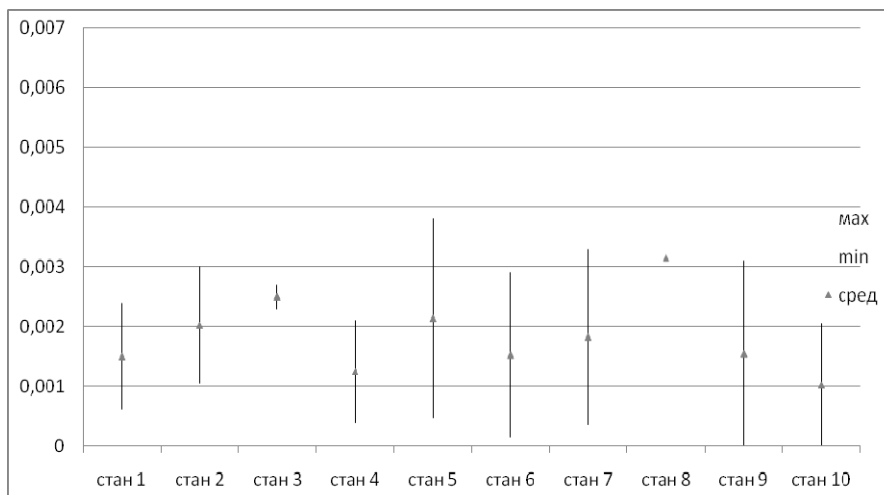


**Рис. 11.** Изменение содержания никеля в северной части Аграханского залива за весь период исследований

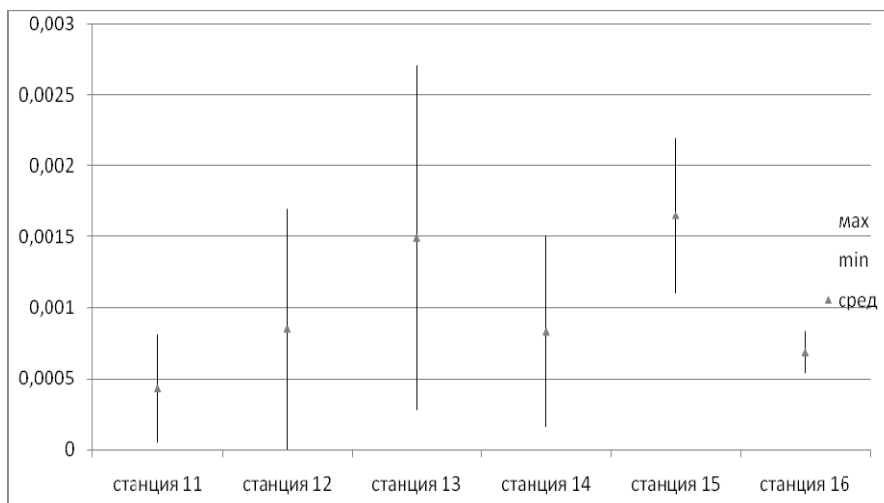




**Медь.** Количество меди изменялось в пределах 0–0,0063 мг/л при величине ПДК для рыбохозяйственных водоемов 0,001 мг/л. Превышения наблюдаются по всей акватории южной части залива (рис. 12). В северной части максимальное содержание отмечается в районе станции 11 (рис. 13).



**Рис. 12.** Изменение содержания меди в южной части Аграханского залива за весь период исследований



**Рис. 13.** Изменение содержания меди в северной части Аграханского залива за весь период исследований

С использованием ГИС-пакета Mapinfo составлены картосхемы пространственного распределения тяжелых металлов в акватории залива (рис. 14–25).

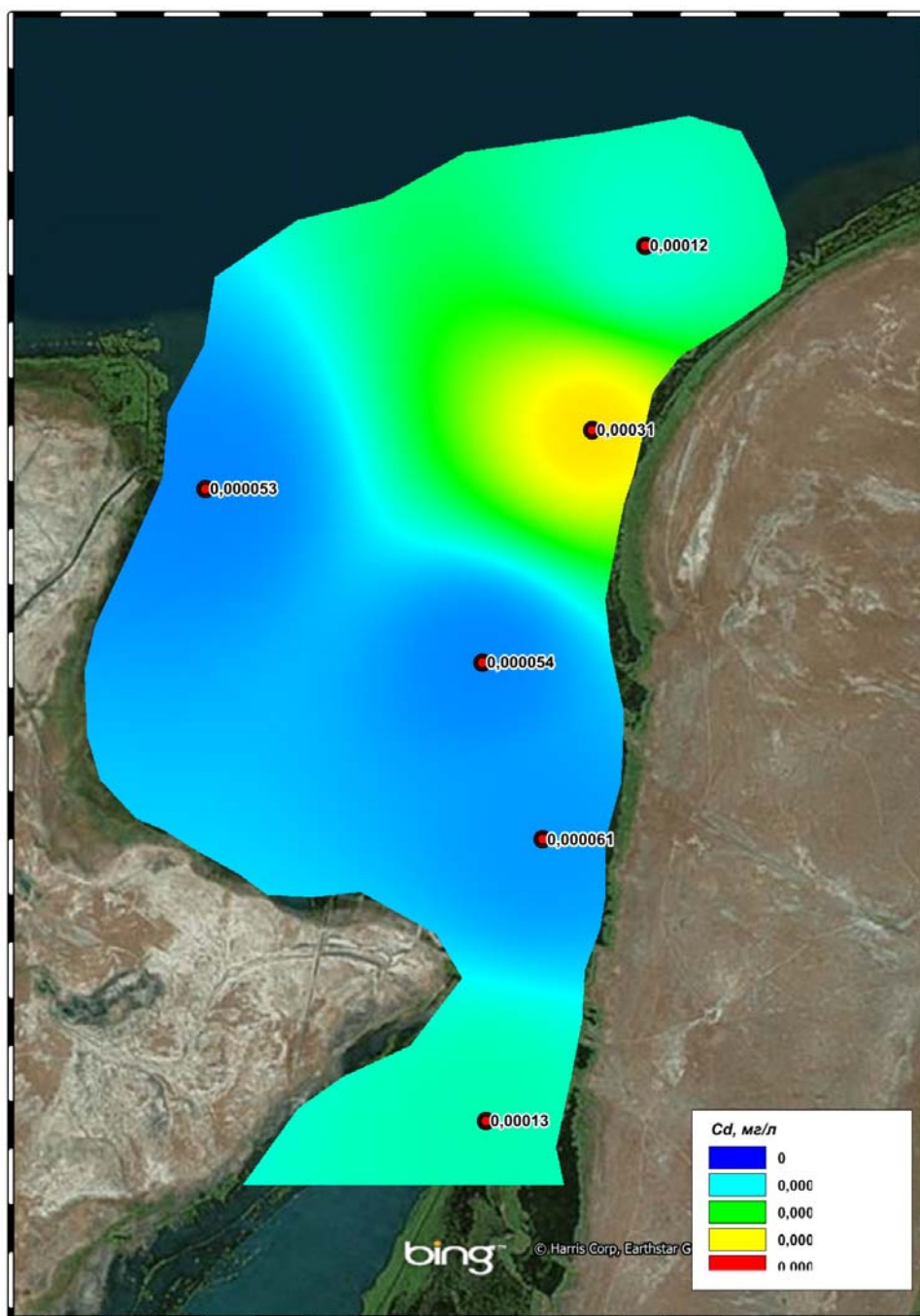


Рис. 14. Карта пространственного распределения кадмия летом 2013 года в акватории северной части Аграханского залива

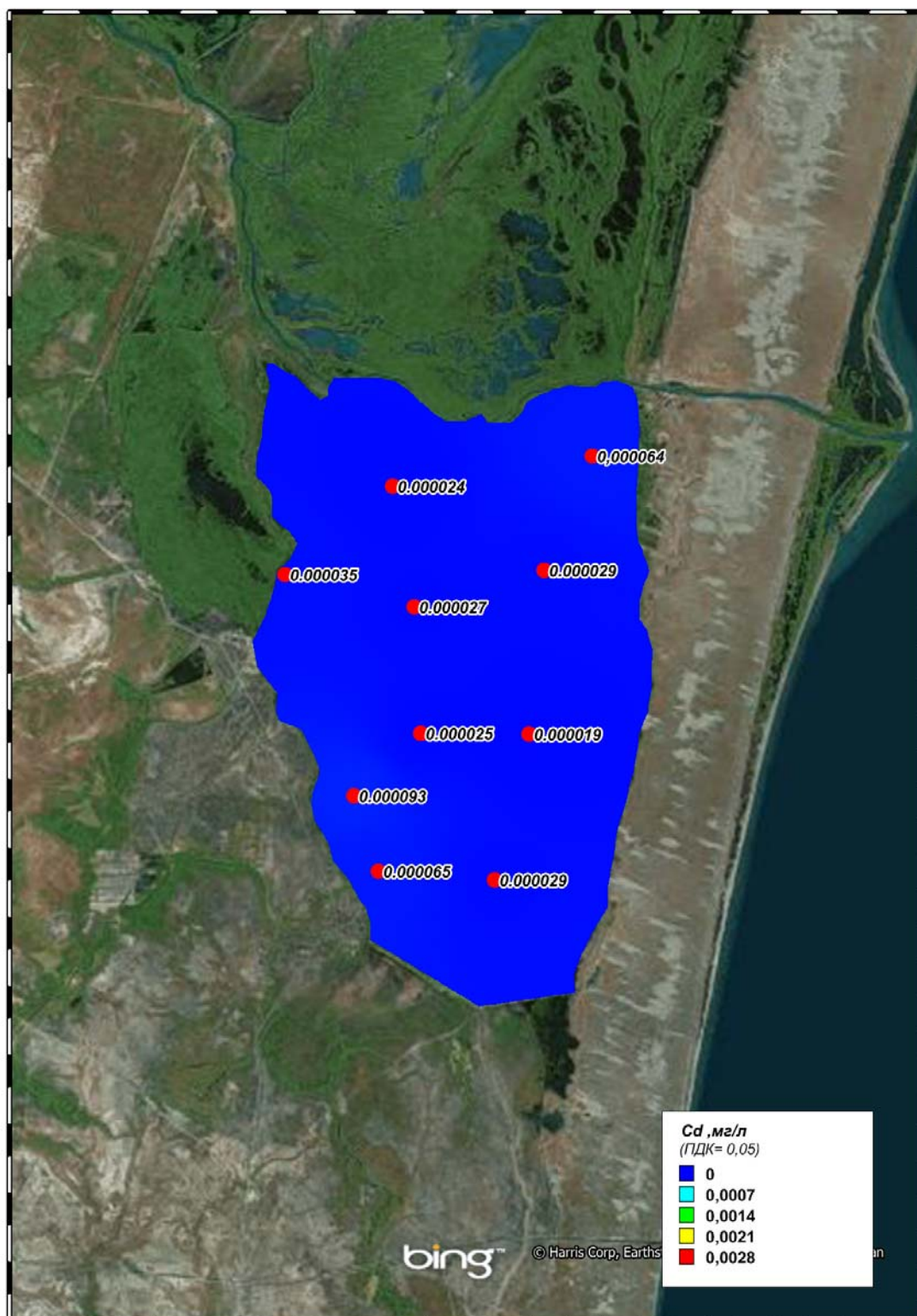


Рис. 15. Карта пространственного распределения кадмия летом 2013 года в акватории южной части Аграханского залива

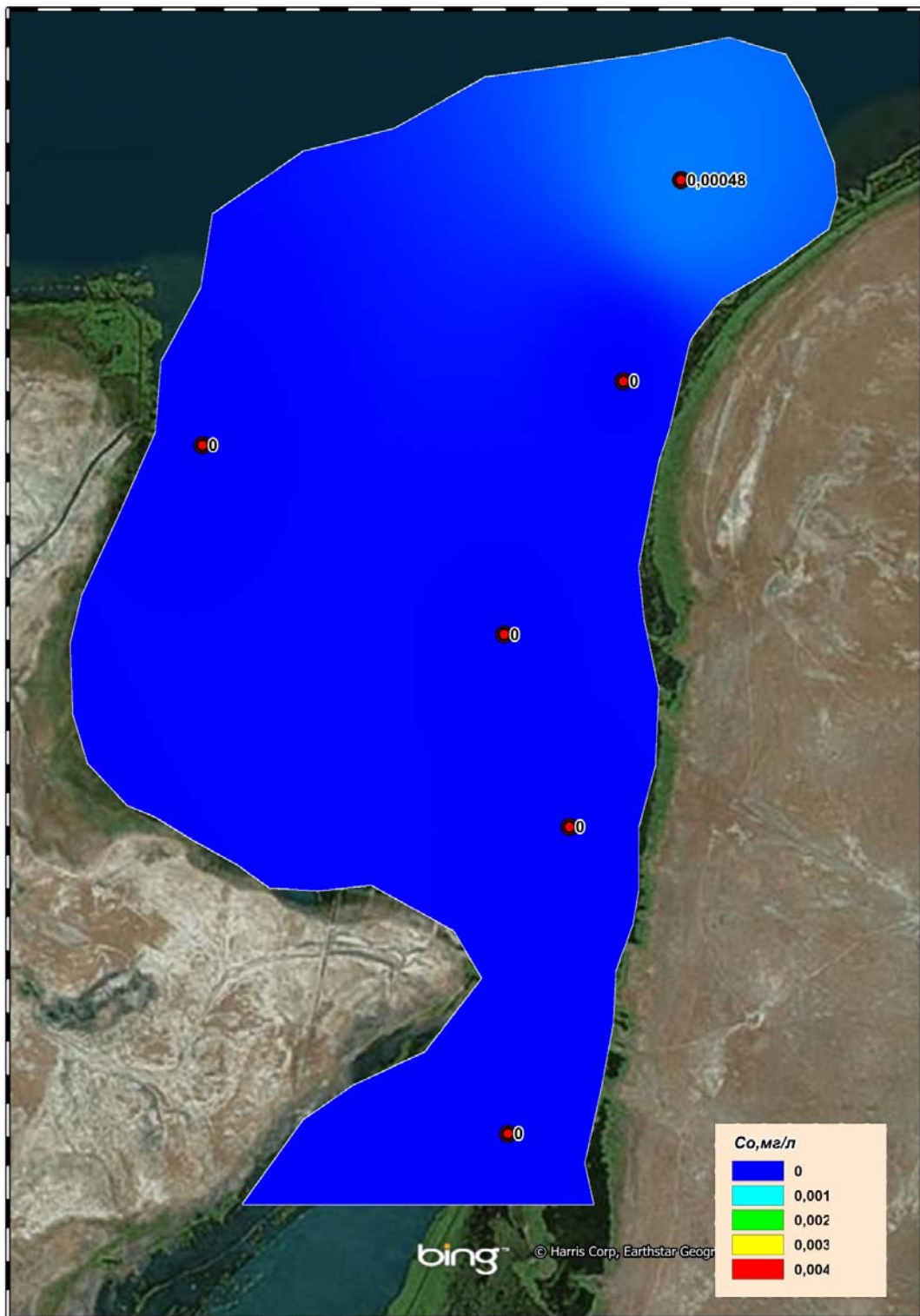


Рис. 16. Карта пространственного распределения кобальта летом 2013 года в акватории северной части Аграханского залива

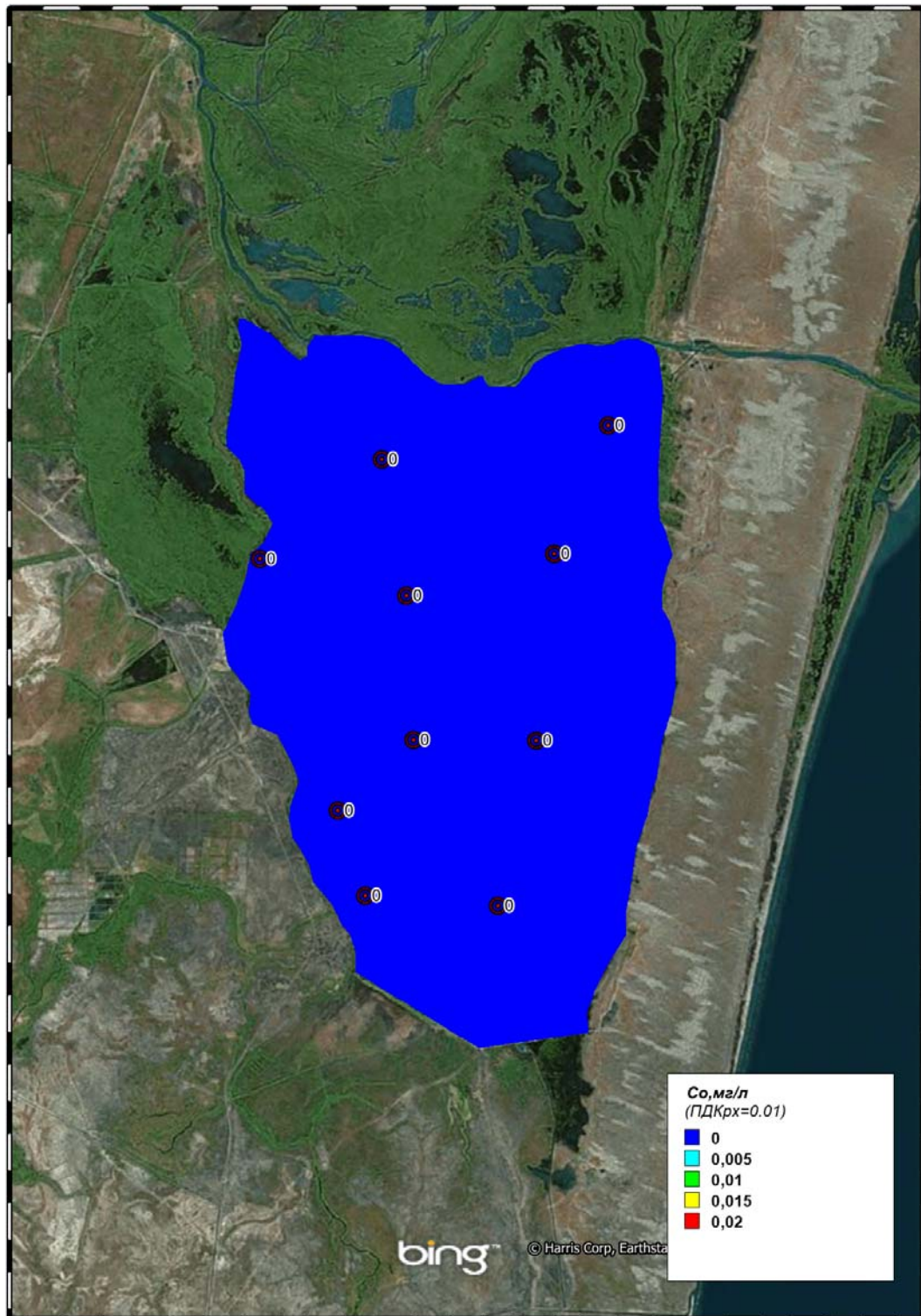


Рис. 17. Карта пространственного распределения кобальта летом 2013 года в акватории южной части Аграханского залива

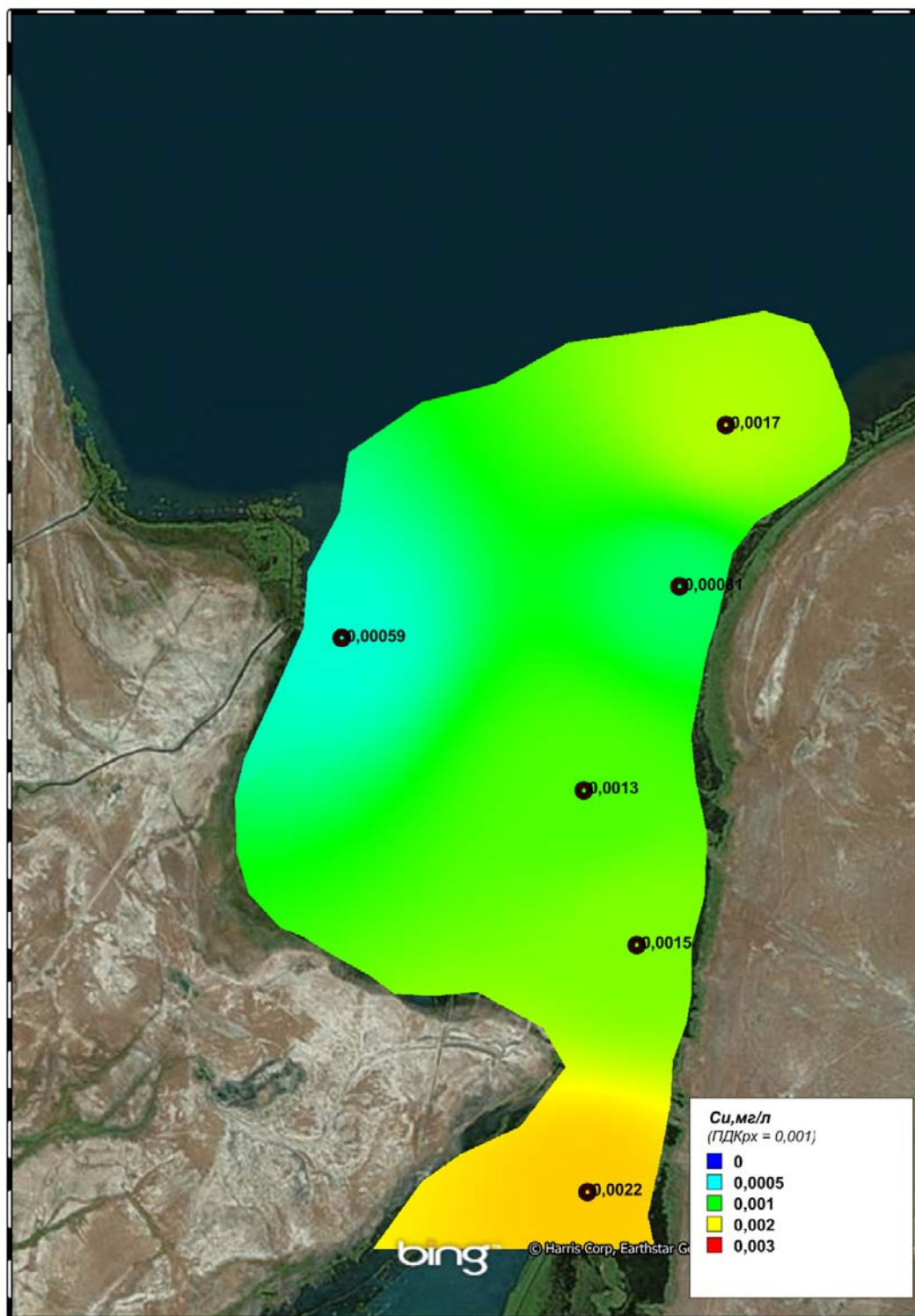


Рис. 18. Карта пространственного распределения меди летом 2013 года в акватории северной части Аграханского залива

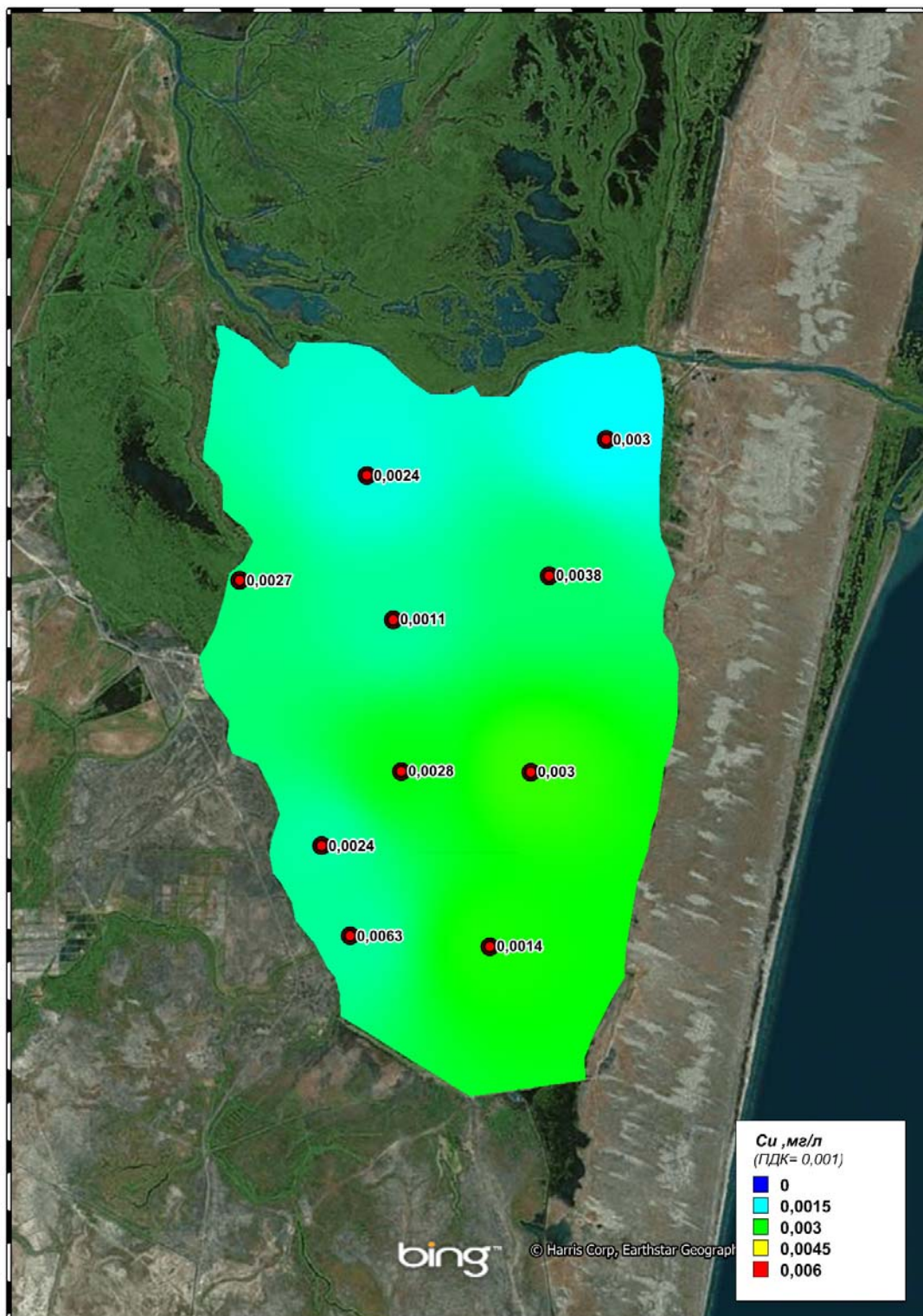


Рис. 19. Карта пространственного распределения меди летом 2013 года в акватории южной части Аграханского залива

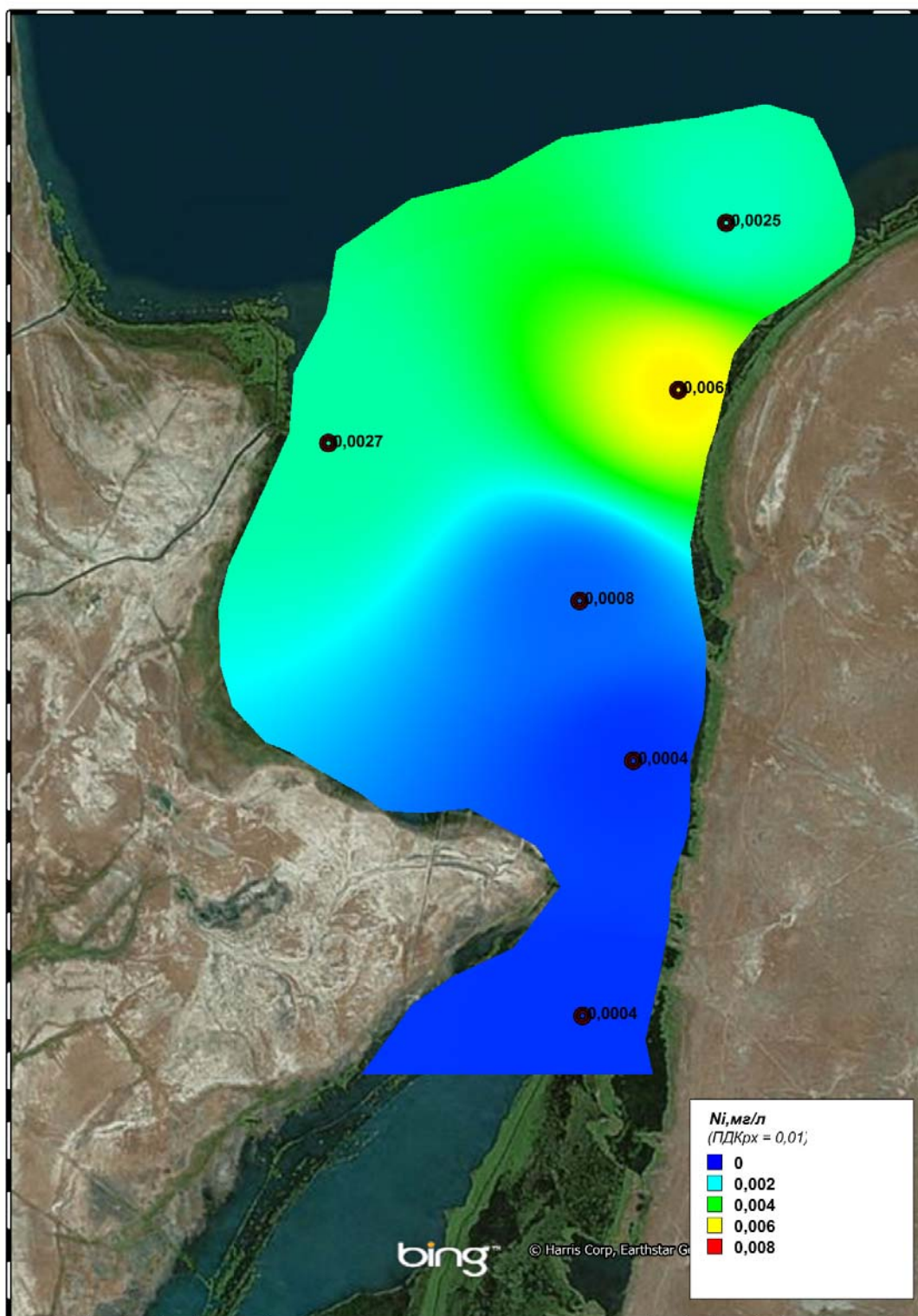


Рис. 20. Карта пространственного распределения никеля летом 2013 года в акватории северной части Аграханского залива



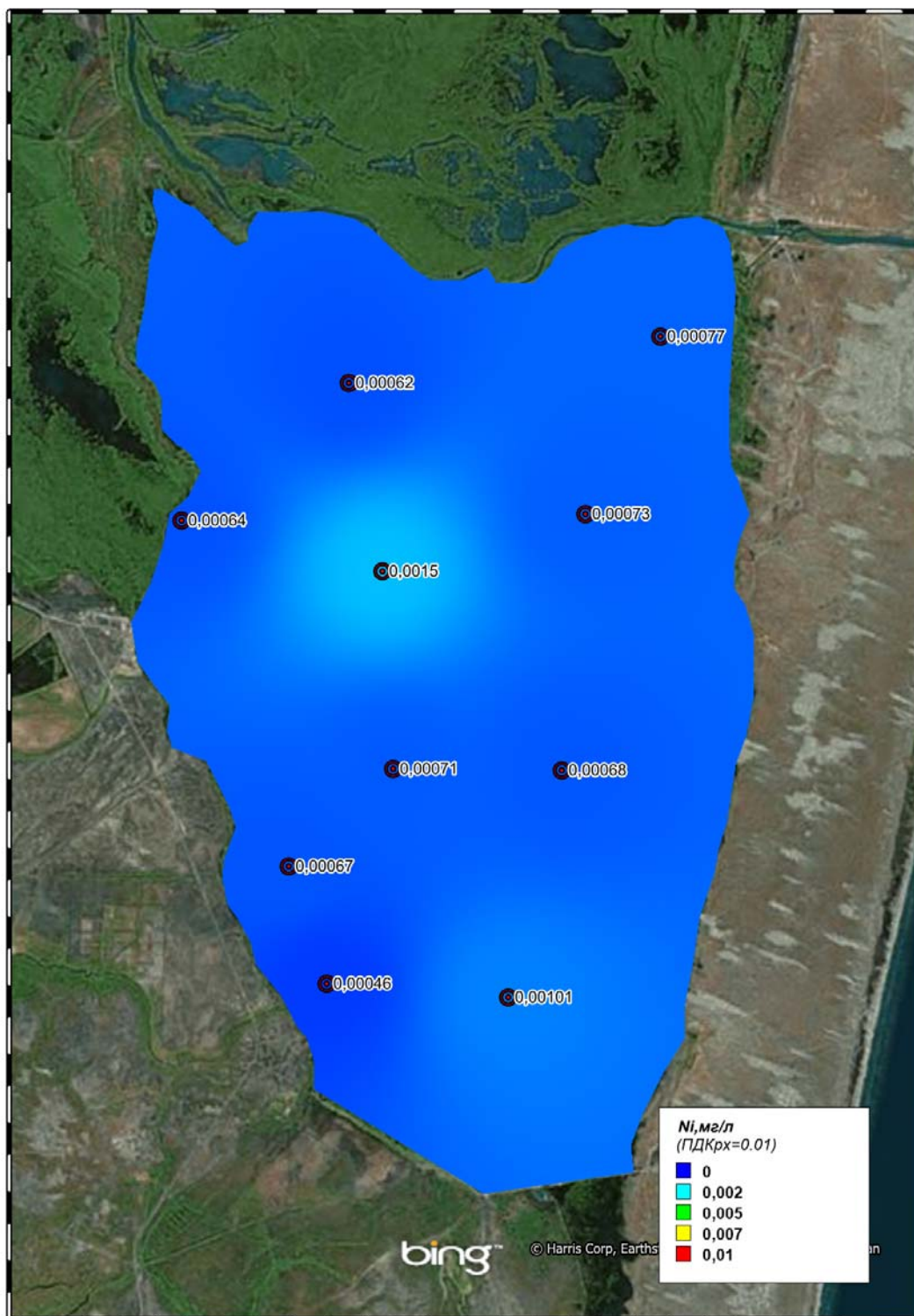


Рис. 21. Карта пространственного распределения никеля летом 2013 года в акватории южной части Аграханского залива

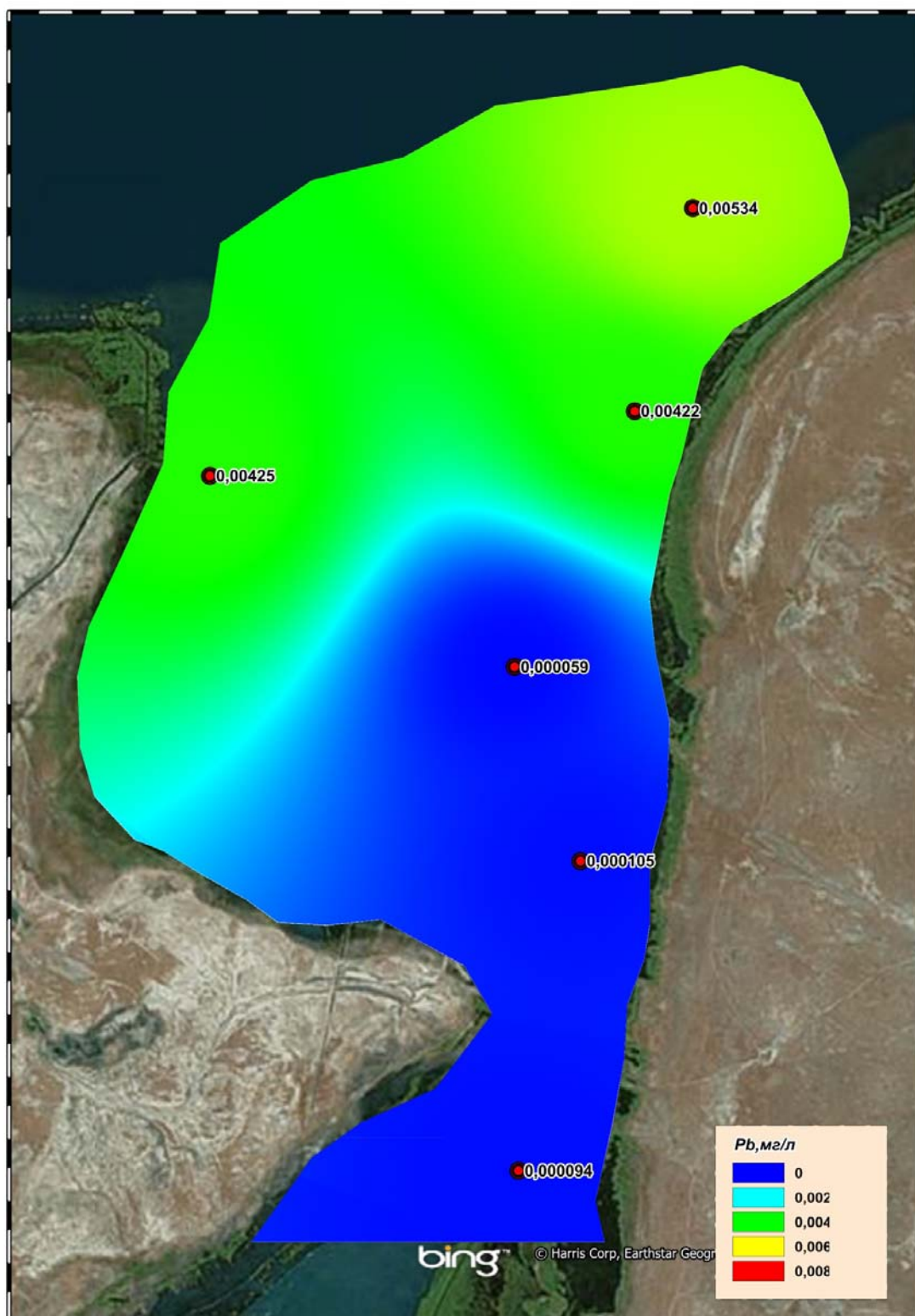


Рис. 22. Карта пространственного распределения свинца летом 2013 года в акватории северной части Аграханского залива



Рис. 23. Карта пространственного распределения свинца летом 2013 года в акватории южной части Аграханского залива

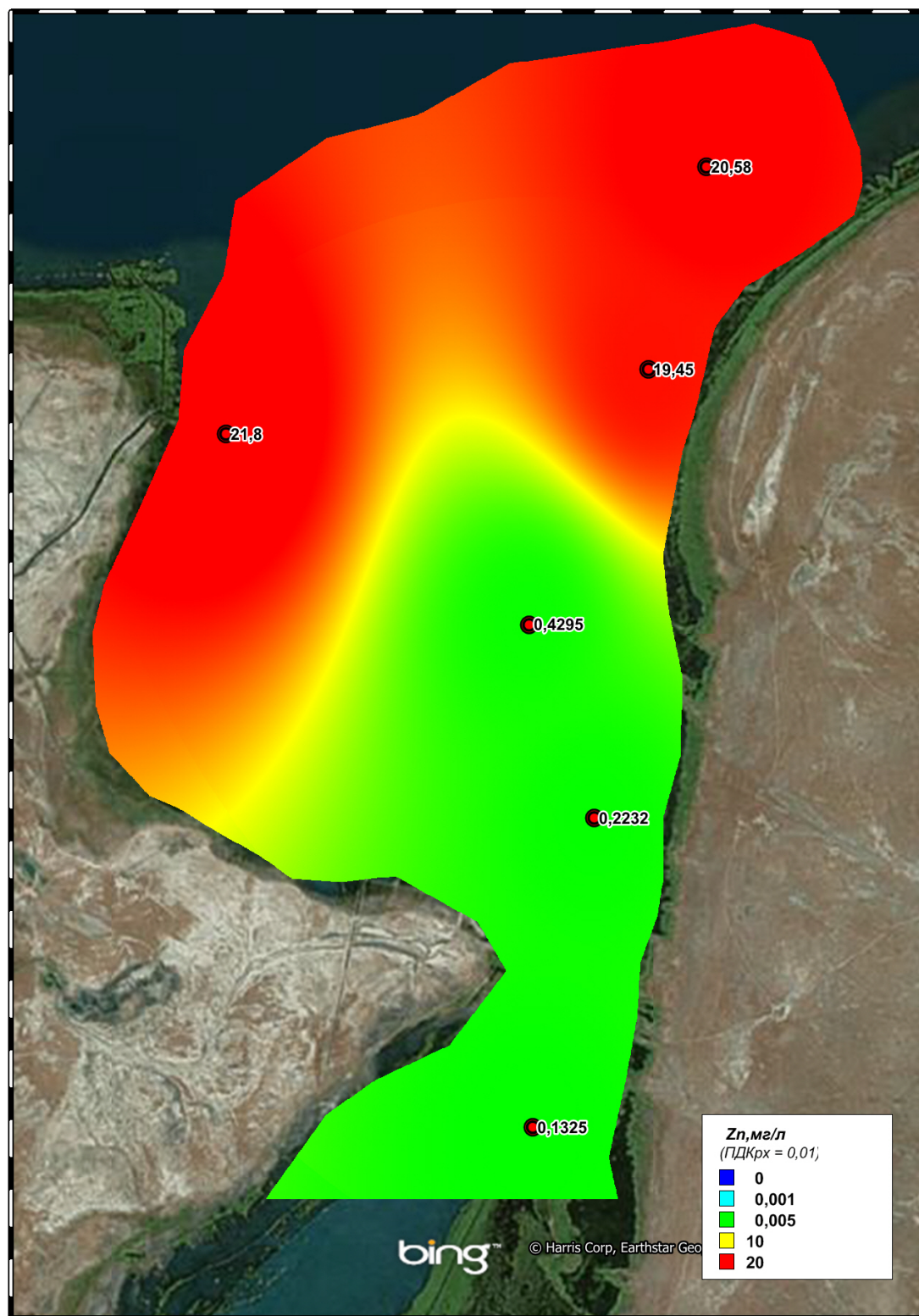


Рис. 24. Карта пространственного распределения цинка летом 2013 года в акватории северной части Аграханского залива

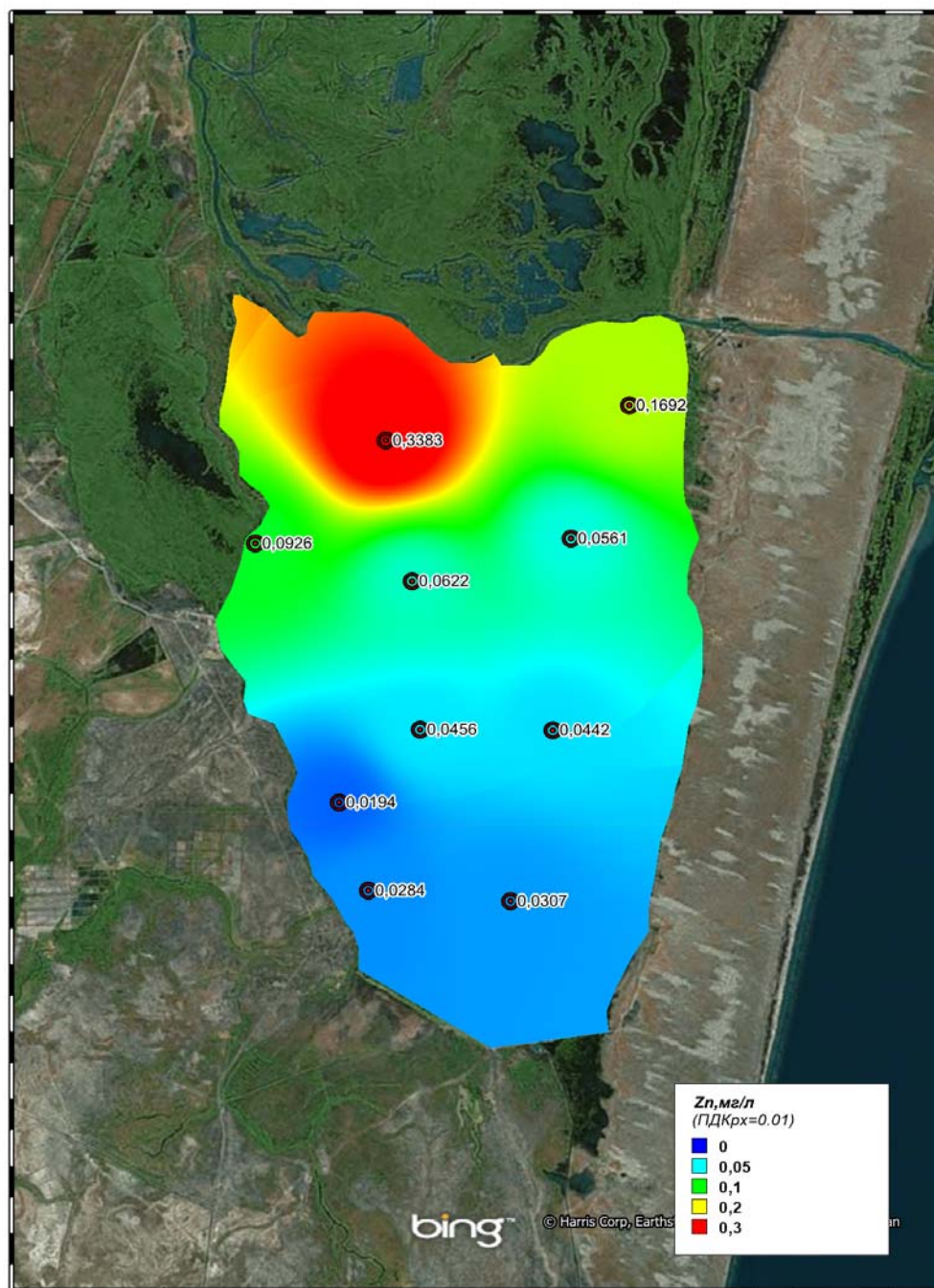


Рис. 25. Карта пространственного распределения цинка летом 2013 года в акватории южной части Аграханского залива

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1811 «Оценка трофического статуса Аграханского залива как составная часть экологического мониторинга особо охраняемых территорий Дагестана» (с учетом дополнительного соглашения от 18 марта 2013 г. № 1).