



УДК 504.4.054, 504.064.3

Н. И. Куракина, Н. С. Шлыгина

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Метод интегральной эколого-химической оценки донных осадков в акватории Финского залива

Исследованы вопросы влияния гранулометрического состава донных отложений на оценку загрязнения с целью обеспечения достоверности результатов. Показано, что к числу приоритетных загрязняющих веществ донных отложений относятся тяжелые металлы и соединения органического происхождения, преимущественно нефтепродукты. Разработан метод интегрального эколого-химического оценивания донных осадков с использованием ориентировочно фоновых концентраций тяжелых металлов в донных отложениях, соответствующих различным их гранулометрическим фракциям. Осуществлена типизация донных осадков по результатам анализа проб донных отложений в восточной части акватории Финского залива. Создана ГИС-модель автоматизации процесса обработки исходных данных. На базе ГИС ArcGIS for Desktop построена интегральная пространственная характеристика, позволяющая выявить наиболее загрязненные участки в акватории Финского залива с целью реализации природоохранных мероприятий.

Финский залив, донные осадки, эколого-химическая оценка, гранулометрический состав, интегральная характеристика, ГИС

В последнее время Финский залив испытывает все возрастающее техногенное воздействие, главными источниками которого являются интенсивное судоходство и промышленность. В связи с функционированием девятого международного транспортного коридора через расположенные здесь порты стремительными темпами возрастает грузооборот. В районе городов Усть-Луги, Приморска и Высоцка полномасштабно работают портовые комплексы. В результате чего на ближайшие годы чрезвычайно важным фактором, определяющим состояние окружающей среды в регионе, являются объекты специализированной нефтегазовой инфраструктуры и транспортного комплекса [1].

Конечным бассейном стока служит акватория Финского залива. Именно в акваторию в итоге попадает большинство загрязняющих веществ, что приводит к загрязнению объектов природной среды Финского залива. В процессы миграции и осадконакопления затягиваются большие объемы загрязняющих веществ, в связи с этим способные попадать в пищевые цепи.

При изучении экологического состояния Финского залива необходима интегральная геохимическая оценка донных отложений, которые являются долговременными накопителями загрязняющих веществ, поступающих из поверхностных вод. Определить источники их локализации и поступления помогает данная оценка. Имеющиеся методики оценки эколого-геохимического состояния водных объектов пренебрегают динамикой накопления загрязняющих веществ и гранулометрическим составом донных отложений.

Целью данной статьи является исследование влияния гранулометрического состава донных отложений на уровень загрязнения и разработка метода интегрального эколого-химического оценивания донных осадков в акватории Финского залива.

Исследование донных отложений. К числу приоритетных загрязняющих веществ донных отложений (ДО) относятся тяжелые металлы и соединения органического происхождения (нефтепродукты, пестициды и т. д.). В отличие от органических загрязняющих веществ, подвергающихся процессам разложения, металлы способны лишь к пере-

распределению между отдельными компонентами водных систем, они существуют в разных формах и различных степенях окисления. Являясь составной частью грунтов, металлы попадают в организмы бентосов, далее рыб и по трофическим цепям в пищу человека, накапливаясь в костях и тканях.

Исследование донных отложений направлено на изучение содержания химических элементов в их составе и выявление геохимических аномалий с последующим их оконтуриванием с целью обнаружения источника воздействия.

При оценках экологического состояния природных сред широко используется «индекс антропогенной нагрузки» (PollutionLoadIndex – PLI) [2]. Данный индекс определяет диапазон соответствующего экологического состояния от 0 до 10 и рассчитывается по формуле

$$PLI = 10^{(1 - [Conc - B]/[T - B])},$$

где Conc, B, T – соответственно, зафиксированная, фоновая и пороговая концентрации конкретного загрязняющего вещества.

Недостатком данного метода является отсутствие четко разработанных критериальных оценок при использовании нелинейных индексов антропогенной нагрузки.

Л. А. Беспаловой для оценки качества донных отложений предлагается использование индекса загрязнения донных осадков (грунтов) – ИЗГ [3]. Расчет ИЗГ основан на применении допустимых уровней концентраций загрязняющих веществ, приведенных в [4]. Приведенные значения допустимых концентраций для большинства загрязняющих веществ во много раз превышают среднегодовые концентрации в ДО. Не учитывается гранулометрический состав ДО.

Часто используемым подходом является метод, основанный на градации кратности превышения содержания загрязняющих веществ относительно выбираемых показателей качества ДО. В основу этого подхода положен метод расчета коэффициентов концентрации:

$$K_k = \frac{C_{и}}{C_{ф}}, \quad (1)$$

где $C_{и}$ и $C_{ф}$ – концентрации загрязняющего вещества на исследуемом и фоновом участках соответственно [5].

Фоновые концентрации тяжелых металлов определяются гранулометрическим составом осадков и металлогенической специализацией региона, влияющих на интерпретацию результатов анализа проб.

Основой предлагаемого метода интегральной эколого-геохимической оценки донных отложений по содержанию тяжелых металлов в водном объекте является использование ориентировочных фоновых концентраций тяжелых металлов в ДО, соответствующих различным их гранулометрическим фракциям [6].

Определение гранулометрического состава донных отложений. Выделение различных гранулометрических фракций ДО связано с отличием физико-химических свойств глинистых и песчаных отложений. А. Е. Ферсман указывал, что глинистые растворы качественно отличаются от иных растворов. Данное отличие заключается в особом состоянии поверхности минеральных частиц, а также в их взаимодействии с окружающей средой. Чешуйчатая форма глинистых частиц по сравнению с частицами других минералов позволяет при одинаковой степени раздробленности иметь большую удельную поверхность, благодаря чему на поверхности глинистых частиц в глинистых растворах проявляется более четко свободная поверхностная энергия, что вызывает в растворе адсорбционные, электрокинетические и другие поверхностные явления. Таким образом, в растворе глинистая частица при соприкосновении с водой адсорбирует на свою поверхность ионы из воды. Адсорбция представляет собой самопроизвольный процесс концентрирования вещества на границе раздела двух фаз.

По мере образования новых поверхностей контакта глинистых частиц с водой происходит их диссоциация на крупные анионы, представляющие собой основную кристаллическую часть минерала, и катионы, состоящие из металлов обменного комплекса. Вследствие этого глинистые частицы приобретают большой отрицательный электрический заряд, в силу чего держат в сфере притяжения положительно заряженные катионы, молекулы воды, ориентированные положительно заряженными частями в сторону глинистой частицы, и адсорбируются на ее поверхности [7]. Из этого следует, что наличие глинистых частиц в иловых отложениях приводит к абсорбированию тяжелых металлов и, следовательно, к их накоплению.

Подобными свойствами песчаные донные отложения не обладают, что является причиной резкого снижения содержания тяжелых металлов в ДО относительно иловой фракции. Наиболее крупные

частицы с размерами 0.05...0.1 и 0.1...0.25 мм характерны для заиленных песков. Согласно [8], частицы размером 0.05 мм и более не обладают плотительной способностью, поэтому сорбционная способность данных типов донных отложений незначительна.

Анализ гранулометрического состава ДО осуществляется по ГОСТ 12536–79 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».

Согласно классификации морских отложений, которая принята в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН для обломочных осадков (табл. 1), осуществляется типизация донных осадков.

Таблица 1

Группа осадков	Наименование		Размеры преобладающих частиц, мм
Грубо-обломочные	Гравий	Крупный	10...5
		Средний	5...2.5
		Мелкий	2.5...1
Песчаные	Пески	Крупные	1...0.5
		Средние	0.5...0.25
		Мелкие	0.25...0.1
Алевритовые	Алевриты	Крупные	0.1...0.05
		Мелкие	0.05...0.01
Глинистые	Илы	Алевритово-глинистые	<0.01

Результаты исследования проб ДО получены от ФБУ «Балтийская дирекция по техническому обеспечению надзора на море» в форме протоколов измерений размеров преобладающих частиц в донных осадках. Первоочередной задачей явилась систематизация этих данных и осуществление типизации донных осадков.

Для определения принадлежности результата отбора к каждому типу осадков осуществляется

группировка данных в соответствии с классификацией морских отложений по гранулометрическому составу (табл. 2).

Таблица 2

Осадки	Размеры преобладающих частиц, мм
Гравий	10...1
Песок	1...0.1
Алевриты	0.1...0.01
Глина	<0.01

Для автоматизации процесса обработки исходных данных создана ГИС-модель в Modelbulder (рис. 1), позволяющая рассчитать процентное содержание гранулометрических фракций в ДО.

Исходными данными для работы модели является таблица Dno_Granul, содержащая протоколы измерений размеров преобладающих частиц в донных осадках. К ней добавляются поля по типам осадков и рассчитывается процентное содержание гранулометрических фракций.

В результате работы модели формируется таблица DNO_po_Kategor следующей структуры:

DNO_po_Kategor = {CODE, DATA, DISTRICT, Pesok, Gravi, Alevrit, Glina, Znak},

где CODE – код поста наблюдения; DATA – дата измерения; DISTRICT – район наблюдения; Pesok, Gravi, Alevrit, Glina – процентное содержание песка, гравия, алеврита и глины в донных осадках; Znak – код преобладающей группы осадков (1 – преобладание песка; 2 – преобладание алеврита; 3 – преобладание глины; 4 – преобладание гравия). Параметр Znak необходим для дальнейшего пространственного анализа донных осадков.

Пространственное моделирование гранулометрического состава. Для пространственного анализа донных осадков осуществляется моделирование с использованием модуля Geostatistical Analyst.

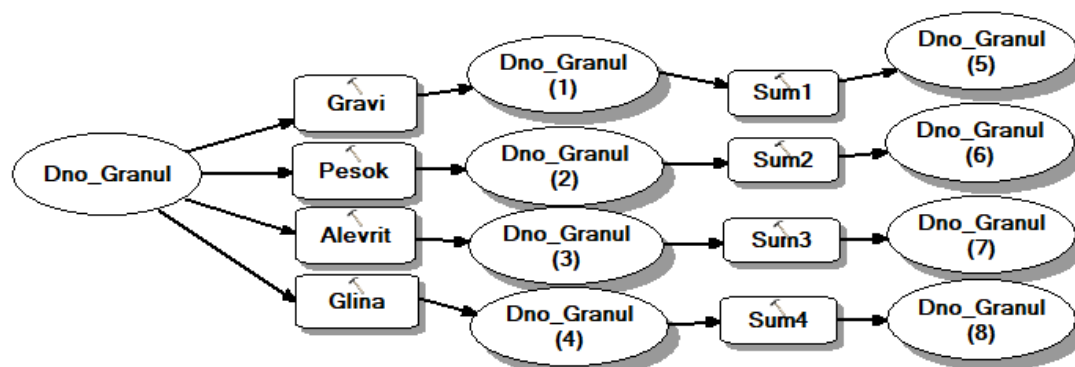


Рис. 1

Построение поверхностей распределения концентраций осуществляется с использованием гео-статистических методов интерполяции [9]. Все они относятся к моделям семейства кригинга, которые сводятся к линейной регрессионной оценке:

$$Z^*(x, y) = \sum w_i(x) [Z(x_i, y_i)],$$

где $w_i(x)$ – веса, присваиваемые данным $Z(x_i, y_i)$, которые, в свою очередь, являются реализациями пространственной переменной Z .

Перед тем как воспользоваться методами интерполяции, исследуются данные с целью определения закономерности их изменения и выбора параметров модели интерполяции. Строится гистограмма, показывающая плотность распределения анализируемого набора данных (по заданному временному интервалу и показателю загрязнения), определяется суммарная статистика (медиана, среднее, эксцесс, стандартное отклонение). При нормальном распределении медиана и среднее имеют близкие значения, асимметрия стремится к нулю, при этом эксцесс примерно равен 3. Если данные имеют значительную асимметрию, осуществляется их преобразование.

Пространственная автокорреляция исследуется с помощью опции «облако вариограммы/ковариации» (рис. 2).

Данная функция количественно характеризует гипотезу о том, что чем ближе посты расположены друг к другу, тем результаты измерений в них

более близки. Меру статистической корреляции как функцию расстояния определяет вариограмма и ковариация. Облако вариограммы выравнивается при определенном расстоянии. Это указывает на то, что между парами постов за пределами расстояния нет корреляции. Из набора данных вычитаются выпадающие значения и тренд для построения более точной поверхности.

После построения поверхности интерполяции созданный слой экспортируется в векторный формат. Поле интерполированных значений вписывается в границы водного объекта, и настраивается отображение (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что в районах Невской и Лужской губы преобладают песчаные донные осадки, в районе о. Кронштадт и маяка Толбухин – глинистые донные отложения, а в районе Выборгского залива – алевроиты.

Интегральная оценка донных осадков. Для анализа загрязнения донных осадков по результатам измерения концентрации тяжелых металлов выбран метод, созданный на градации кратности превышения содержания загрязняющих веществ относительно выбираемых показателей качества ДО.

Коэффициент концентрации рассчитывается согласно (1), причем фоновая концентрация зависит от гранулометрического состава донных осадков [5]. Для каждого поста наблюдения осуществляется пересечение со слоем интерполированных значений донных осадков и в зависимости от их типа выбирается соответствующее значение фоновой концентрации по каждому металлу.

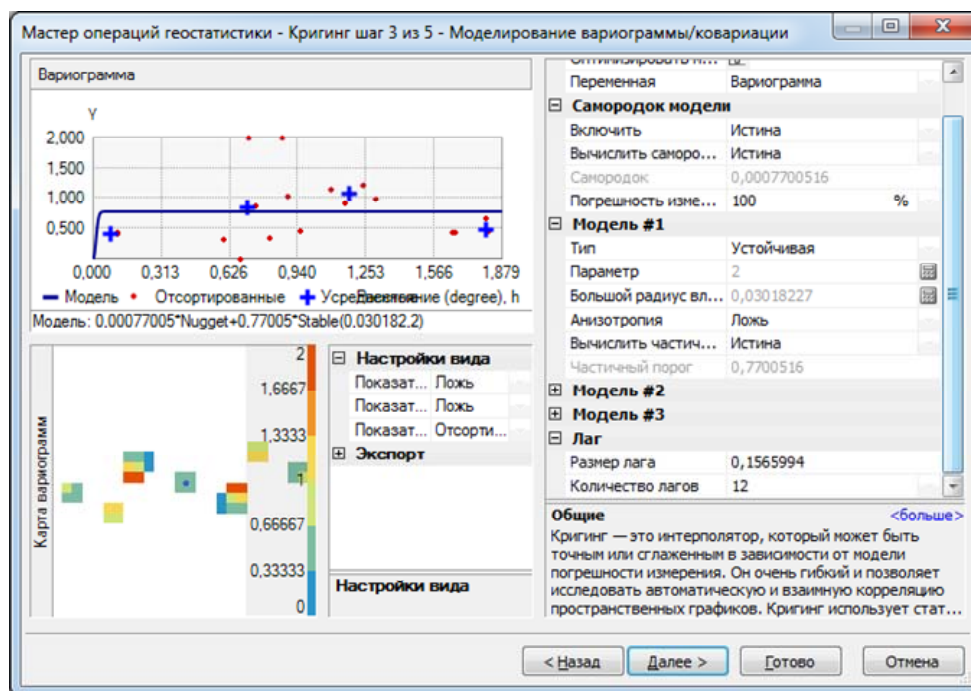


Рис. 2

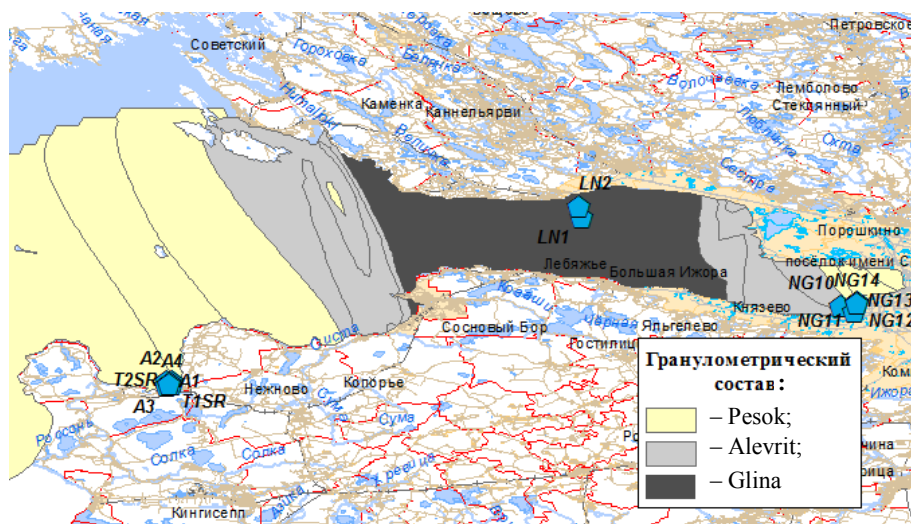


Рис. 3

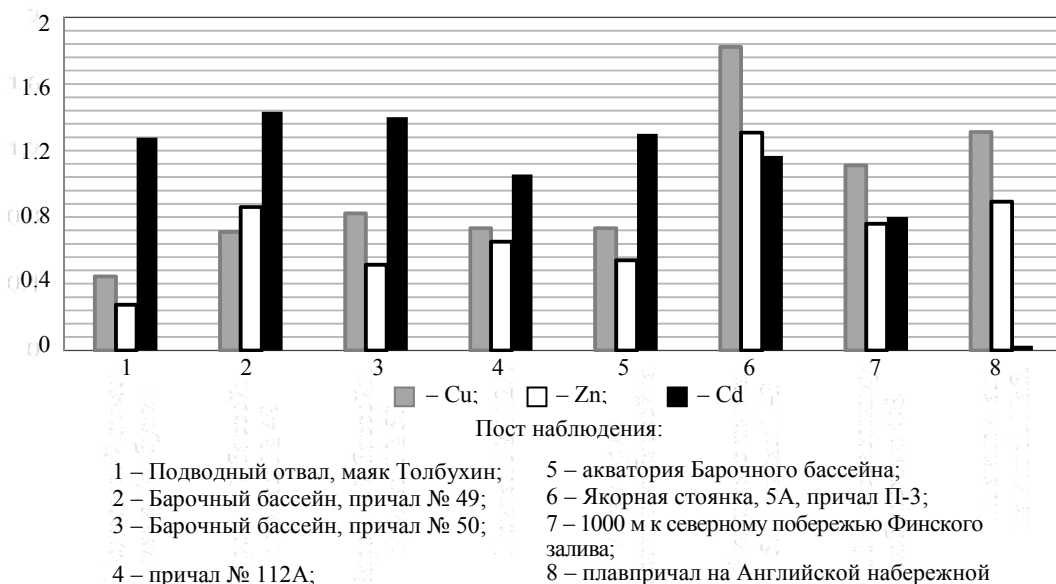


Рис. 4

Результат пространственного анализа состояния ДО представлен на рис. 4 и представляет собой значения коэффициентов концентрации (ось y) для меди, кадмия и цинка, рассчитанные в различных постах наблюдения (ось x).

В результате работы предложен метод определения коэффициента концентрации ДО с учетом гранулометрического состава. Осуществлен уточненный анализ качества донных отложений в акватории Финского залива согласно предложенному методу. Пространственный анализ показал, что наиболее загрязненные участки наблюдаются там, где преобладают глинистые фракции донных

осадков, особенно в районе Якорной стоянки, 5 А. Также в акватории Барочного бассейна концентрация кадмия превышает предельно допустимое значение в 1.5 раза.

Разработанный метод оценки состояния ДО с применением ориентировочно фоновых концентраций тяжелых металлов, соответствующих различным их гранулометрическим фракциям, и построенная пространственная интегральная характеристика позволяет достоверно оценить экологическую ситуацию и выявить наиболее загрязненные участки в акватории Финского залива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлыгина Н. С. Геохимический мониторинг донных отложений в восточной части Финского залива. URL: <http://library.eltech.ru/files/vkr/bakalavri/2586>

/2016%D0%92%D0%9A%D0%A0258625%D0%A8%D0%9B%D0%AB%D0%93%D0%98%D0%9D%D0%90.PDF.

2. Wilson J. G. Biology and Environment // Proc. of the Royal Irish Academy. 2003. Vol. 103B, № 2. P. 49–57.

3. Беспалова Л. А. Экологическая диагностика и оценка устойчивости ландшафтной структуры Азовского моря. Ростов н/Д: Изд-во ООО «ЦВВР», 2006.

4. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга // Региональный норматив, разработанный в рамках российско-голландского сотрудничества по программе PSO 95/RF/3/1. СПб., 1996. 20 с.

5. Шлыгина Н. С., Куракина Н. И. Оценка состояния донных отложений по результатам контрольных измерений концентраций загрязняющих веществ в восточной части Финского залива // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2017. № 4. С. 72–78.

6. Соколова Т. В. Методика интегральной эколого-геохимической оценки донных отложений искусствен-

но созданных водных объектов в условиях природного и техногенного воздействия: дис. ... канд. географ. наук: 25.00.36 / [Место защиты: Воен.-воздуш. акад. им. Н. Е. Жуковского]. Воронеж, 2015. 154 с.

7. Вахтанова А. Н. Роль адсорбционных процессов в загрязнении геологической среды // докл. Всесоюз. науч. конф. «Проблемы инженерно-геологических и гидрогеологических исследований». Воронеж, 1990. С. 103–107.

8. Катанаева В. Г., Газикова М. Г., Ларина Н. С. Тяжелые металлы в донных отложениях озера Кучак // Вестн. Тюмен. гос. ун-та. 2003. № 2. С. 234–247

9. Куракина Н. И., Габидинова А. Р. Информационная среда мониторинга и пространственного моделирования загрязнения водных акваторий на базе ГИС технологий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 5. С. 95–98.

N. I. Kurakina, N. S. Shlygina

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

METHOD OF INTEGRATED ECOLOGICAL AND CHEMICAL ASSESSMENT GROUND DEPOSITS IN THE GULF OF FINLAND

The report focuses on the influence of the granulometric composition of ground deposit in the pollution assessment with the objective of ensuring the reliability of the results. It is shown that heavy metals and compounds of organic origin, mainly petroleum products, are among the priority pollutants of ground deposits. A method has been developed for an integrated ecological and chemical assessment of ground deposits, using approximately background concentrations of heavy metals in ground deposits corresponding to different granulometric fractions. By results of the analysis of tests of ground deposits in the eastern part of the Gulf of Finland typification of ground deposits is made. A GIS-model for automating the processing of initial data is created. On the basis of GIS ArcGIS for Desktop, an integrated spatial characteristic is constructed, which allows identification of the most polluted areas in the Gulf of Finland with a view to implementing environmental activities.

The Gulf of Finland, ground deposits, ecological and chemical assessment, granulometric composition, integrated characteristics, GIS