



УДК 504.4.054, 504.064.3

Н. И. Куракина, Н. С. Шлыгина

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

Оценка состояния донных отложений по результатам контрольных измерений концентраций загрязняющих веществ в восточной части Финского залива

Произведен сравнительный анализ существующих методов оценки состояния донных отложений по данным контроля с целью обеспечения достоверности результатов. Предложен подход интегрального оценивания качества донных осадков с использованием всей совокупности результатов измерений. Исследовано состояние донных отложений в восточной части акватории Финского залива, построены нормированные оценки и интегральные характеристики во времени и пространстве с целью выявления наиболее загрязненных участков.

Донные отложения, экологический контроль, нормированная оценка, интегральная характеристика, GIS

Финский залив, расположенный в восточной части Балтийского моря, является самой мелководной и уязвимой частью Балтики. Основными источниками загрязнения здесь являются стоки промышленных, бытовых и сельскохозяйственных предприятий, возросшая интенсивность судоходства, а также проведение дноуглубительных работ, которые вызывают вторичное проникновение в воду аккумулярованных в донных отложениях веществ.

Донные осадки являются депонирующей средой, и их химический состав отражает долгопериодные закономерности. Это непростая всеохватывающая система, образованная нанесением и отложением на дно водоемов разных неорганических и органических веществ в итоге физических, химических и биологических процессов. Все это, кроме эффекта накопления, приводит к возможности протекания медленных реакций по образованию новых химических соединений, токсичные свойства которых иногда могут быть более высокими, чем у первичных природных соединений.

К числу приоритетных загрязняющих веществ донных отложений относятся тяжелые металлы и соединения органического происхождения (пестициды, нефтепродукты и т. д.). В отли-

чие от органических загрязняющих веществ, подвергающихся процессам разложения, металлы способны лишь к перераспределению 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.

Оценка загрязнения донных отложений существенно затруднена тем, что для донных осадков отсутствует понятие «предельно допустимые концентрации» (ПДК), что связано с санитарно-токсикологической сущностью данного показателя. Фоновые концентрации тяжелых металлов определяются гранулометрическим составом осадков и металлогенической специализацией региона, влияющих на интерпретацию результатов анализа проб. Отсутствие однозначного решения вопроса о роли донных отложений в процессах самоочищения и предельно допустимых нагрузках загрязняющих веществ на акваторию Финского залива, увязанных с емкостью осадков, обуславливает необходимость разработки методических и информационных подходов к решению этой задачи.

Целью данной статьи является изучение проблем загрязнения донных отложений в восточной части акватории Финского залива, исследование вопросов получения достоверных оценок по результатам контрольных измерений, разработка подхода интегрального оценивания качества донных осадков.

Методы оценки состояния донных отложений. Исследование донных отложений направлено на изучение содержания химических элементов в их составе и выявлению геохимических аномалий. Рассмотрим различные подходы к обработке результатов измерений загрязнения донных отложений.

Кратность средней характерной концентрации. В [1] авторы предлагают использование подхода, основанного на уравнивании типов донных отложений с использованием средней характерной концентрации (СХК) приоритетных загрязняющих веществ в различных типах грунта исследуемого объекта. Сравнение результатов анализа донных отложений в абсолютных концентрациях [мг/кг] с СХК дает безразмерную величину – кратность СХК ($K_{СХК}$):

$$K_{СХК} = \frac{C_i}{СХК}, \quad (1)$$

где C_i – абсолютная концентрация определяемого загрязняющего вещества; СХК – средняя характерная концентрация этого вещества для различных типов грунта.

Кратность СХК характеризует подверженность водоема к техногенному воздействию в определенный период. При СХК меньше 1 можно говорить об отсутствии поступления загрязняющего вещества, если кратность СХК больше 1 – данный район подвержен техногенному воздействию в изучаемый период и необходимо его обнаружение, локализация с последующей ликвидацией источника загрязнения.

Коэффициент концентрации. Часто используется другой метод, основанный на градации кратности превышения содержания загрязняющих веществ относительно выбираемых показателей

качества донных отложений. В основе лежит метод расчета коэффициента концентрации (K_K):

$$K_K = \frac{C_i}{C_{\phi}}, \quad (2)$$

где C_i и C_{ϕ} – концентрации загрязняющего вещества на исследуемом и фоновом участках соответственно.

Для расчета коэффициента концентрации используются в качестве фоновых значений следующие показатели: кларки горных пород, земной коры, кларки осадочных пород, кларки почв, геохимический фон, региональный фон почв, ПДК почв [2].

Показатель накопления. Еще одним подходом является сравнительная оценка загрязнения донных отложений с помощью определения показателя накопления [3], характеризующего превышение содержания рассматриваемого элемента в данной точке отбора по сравнению с другими [%]:

$$AI = \frac{C_i - C_{\phi}}{C_{\phi}} 100, \quad (3)$$

где C_i – концентрация металла в отложениях анализируемого створа; C_{ϕ} – содержание данного металла в стандартных донных отложениях.

Классификация уровней загрязнения. Для геохимической оценки необходимо использование критериев оценки и разработка четких уровней загрязнения.

В России утверждены нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга, содержащие четыре класса загрязненности (табл. 1).

Концентрация каждого загрязняющего вещества классифицируется в соответствии с классами загрязнения (табл. 2).

Если концентрация загрязняющих веществ ниже целевого уровня, то донные отложения считаются чистыми. Если концентрации загрязняющих веществ доходят до предельного уровня, то донные отложения представляют максимально приемлемый риск для здоровья людей и для природы. Они могут

Таблица 1

Класс	Уровень вмешательства	Классификация загрязнения
0	–	Чистые
I	Целевой	Слабозагрязненные
II	Предельный	Умеренно загрязненные
III	Проверочный	Сильнозагрязненные
IV	Уровень вмешательства	Опасно загрязненные

Таблица 2

Загрязняющее вещество	Целевой уровень	Предельный уровень	Проверочный уровень	Уровень, требующий вмешательства
1	2	3	4	5
Кадмий (Cd)	0.8	2	7.5	12
Ртуть (Hg)	0.3	0.5	1.6	10
Медь (Cu)	35	35	90	190
Никель (Ni)	35	35	45	210
Свинец (Pb)	85	530	530	530
Цинк (Zn)	140	480	720	720
Хром (Cr)	100	380	380	380
Мышьяк (As)	29	55	55	55
Нефтепродукты	180	1000	3000	5000

использоваться без ограничений для намыва территорий, отвала в водные объекты и других целей. Если концентрации загрязняющих веществ находятся между целевым и предельным уровнями, то донные отложения принадлежат классу I и считаются слабозагрязненными.

Интегральные оценки донных отложений.

Одиночные оценки не дают достоверной, общей картины об уровне загрязнения донных отложений, поэтому рассмотрим интегральные оценки, позволяющие по перечню показателей определить комплексное загрязнение.

Суммарный показатель загрязнения является самым известным критерием оценки (Z_c) и рассчитывается для каждой точки отбора проб по формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_K (n-1), \quad (4)$$

где n – число учитываемых элементов.

В [2] согласно правилу Оддо–Гаркинса расчет суммарного показателя загрязнения основан на сравнении с ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) загрязняющих веществ в почвах:

$$Z_c = \sum \left(\frac{[Me]}{ОДК} - 1 \right),$$

где $[Me]$ – средняя концентрация металла, мг/кг. Ниже ОДК донные отложения рассматриваются как чистые [5].

При расчете суммарного показателя имеем различия, так как имеются различия в критериях оценки и использовании фоновых концентраций.

Модифицированный суммарный показатель загрязнения для донных осадков (уточненного суммарного показателя концентрации (Z_y)) [4] рассчитывается для точки отбора проб или створа наблюдений по всем анализируемым тяжелым металлам:

$$Z_y = \sum_{i=1}^n K_K - \log_2 n, \quad (5)$$

где K_K – коэффициент концентрации, рассчитанный относительно ориентировочно фоновых концентраций для различных гранулометрических разностей донных отложений.

В связи с тем, что при расчете суммарного показателя концентрации достоверное описание эколого-геохимической обстановки дается лишь при $K_K \geq 1$, т. е. для территорий, имеющих значительные превышения над фоновыми концентрациями, осуществляется переход к уточненному суммарному показателю концентрации от стандартного Z_c [6].

В реальных случаях пространственное загрязнение территории может варьироваться в широких пределах как для одного загрязняющего вещества, так и для n загрязняющих веществ. При расчете суммарного показателя загрязнения рекомендуется отбрасывать значения $K_K < 1$, как не влияющие на экологическое состояние территории. Только при таком подходе не получается отрицательных значений Z_c , так как предполагается, что для загрязненной территории $Z_c > 0$.

В связи с указанными недостатками использования Z_c в рамках данного подхода предлагается его модификация с последующим применением уточненного суммарного показателя концентрации депонирующих сред Z_y , который лишен недостатков. Здесь также производится суммирование коэффициентов концентраций загрязняющих веществ, однако количественно число этих веществ n не ограничивается коэффициентами концентрации, большими единицы.

Таблица 3

Z_y токсичных элементов в донных отложениях	Уровень загрязнения
До 5	Чистые
5–10	Слабый
10–30	Средний
30–100	Сильный
Более 100	Очень сильный

Таким образом, учитываются все вещества, даже не превышающие фон. Основание натурального логарифма равно 2, так как вероятны только два исхода измерений: либо больше фоновых значений, либо меньше. Логарифмический закон выбран в связи с тем, что отклик биоты на суммарное воздействие множества факторов логарифмический, что позволяет живым системам поддерживать свой гомеостаз.

Оценка эколого-геохимического состояния донных отложений с использованием Z_y производится по градации, представленной в табл. 3.

Предлагаемый подход эколого-геохимической оценки на основании расчета уточненного суммарного показателя концентрации позволит достоверно оценить состояние донных отложений с использованием всей совокупности результатов контроля и классифицировать донные отложения с целью выявления наиболее загрязненных участков и внедрения природоохранных мероприятий.

Результаты анализа. Произведем оценку качества донных отложений в акватории Финского залива с использованием изложенных методов. Оценка осуществляется на основе данных натуральных наблюдений Федерального бюджетного учреждения «Балтийская дирекция по техническому обеспечению надзора на море» [7].

При расчете показателя накопления согласно (3) было получено много отрицательных значений из-за непревышения уровня фоновых концентраций. В связи с этим в работе оценка качества донных отложений осуществлялась с использованием коэффициента концентрации, рассчитываемого согласно (2).

За фоновую концентрацию выбран целевой уровень из норм и критериев оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга (см. табл. 2). Были рассчитаны коэффициенты концентрации для хрома, меди, цинка, кадмия, никеля, свинца по данным наблюдений в акватории порта Усть-Луга в течение 2013 г.

На приведенных далее графиках показана временная динамика изменения коэффициента концентрации металлов, а именно кадмия, никеля (рис. 1) и меди (рис. 2) за 2013 г.

Из графиков видно, что за весь рассматриваемый период наблюдалась завышенная концентрация кадмия и умеренная концентрация меди. Особенный рост концентрации кадмия наблюдается летом и резкий рост, почти в 2 раза, в декабре. Рост концентрации никеля наблюдался осенью.

Наряду с анализом тяжелых металлов исследовалась динамика изменения коэффициента концентрации нефтепродуктов (рис. 3). Из графика

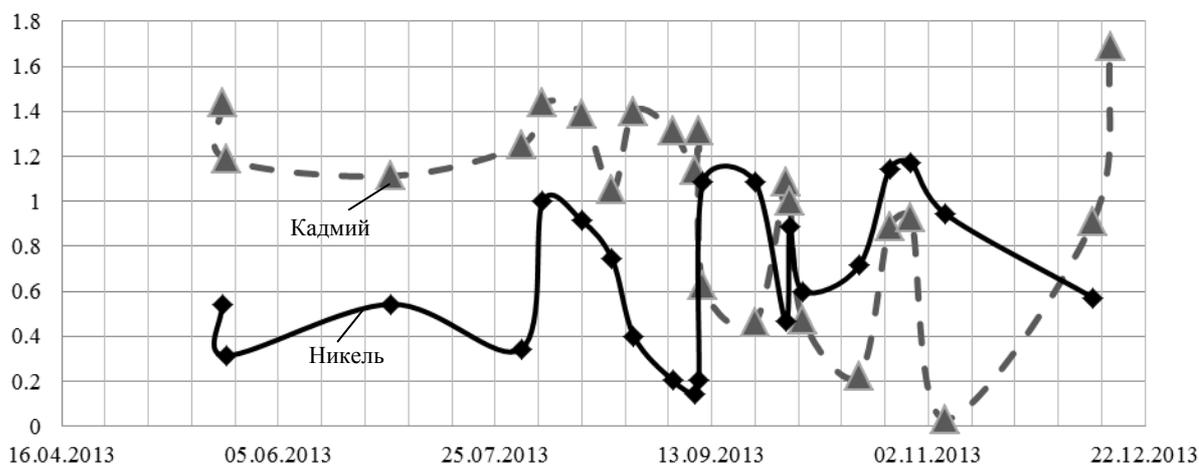


Рис. 1

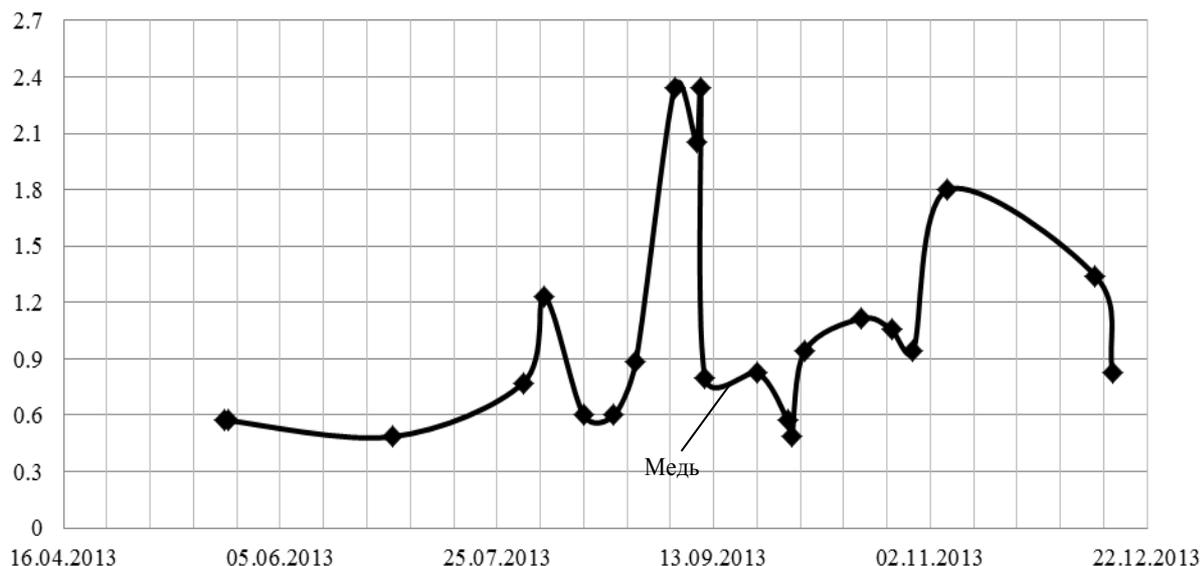


Рис. 2

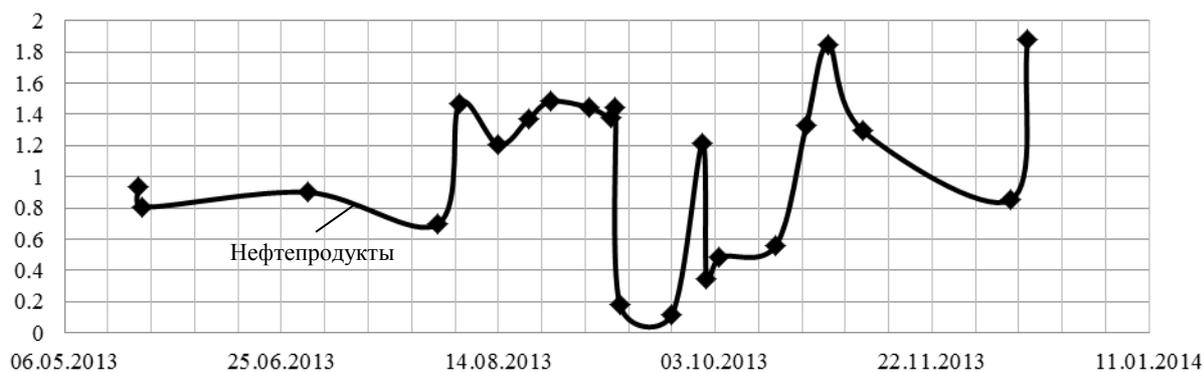


Рис. 3

ка видно, что концентрация нефтепродуктов выше нормы в 1.5 раза наблюдалась в августе и сентябре, а также резкий рост почти в 2 раза наблюдался в ноябре и декабре.

Полученные результаты не позволяют определить общую картину загрязнения донных отложений по сумме показателей и выявить тенденции изменения экологической ситуации в районе порта Усть-Луга, поэтому в работе была использована интегральная геохимическая оценка донных отложений.

По данным мониторинга сначала был рассчитан суммарный показатель загрязнения по (4). Однако, учитывая, что при расчете суммарного показателя концентрации достоверное описание эколого-геохимической обстановки дается лишь при $K_K \geq 1$, т. е. для территорий, имеющих значительные превышения над фоновыми концентрациями, был осуществлен переход к модифицированному суммарному показателю концентрации (5).

На рис. 4 изображен анализ состояния донных отложений в акватории порта Усть-Луга по модифицированному суммарному показателю (Z_y) за 2013 г. Из графика видно, что минимальное загрязнение наблюдается в мае, в августе идет повышение суммарного показателя и в сентябре – самое высокое значение, которое превышает 10, что является следствием активизации проведения дноуглубительных работ в этом районе. Однако в общем донные отложения в районе порта Усть-Луга можно охарактеризовать как слабозагрязненные.

Пространственный анализ состояния донных отложений (рис. 5) показал, что в сентябре 2013 г. наиболее загрязненным участком являлась акватория р. Невы и Невской губы, особенно в районе Якорной стоянки, 5А и Английской набережной. Наибольшее загрязнение наблюдается по меди, значение концентрации которой превышает предельно допустимое более чем в 2 раза.

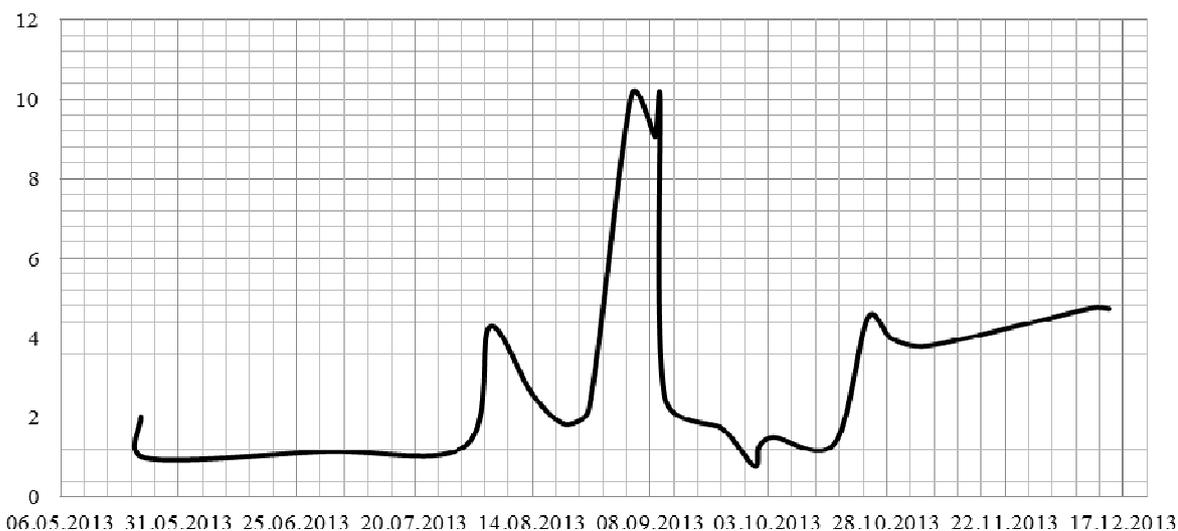


Рис. 4

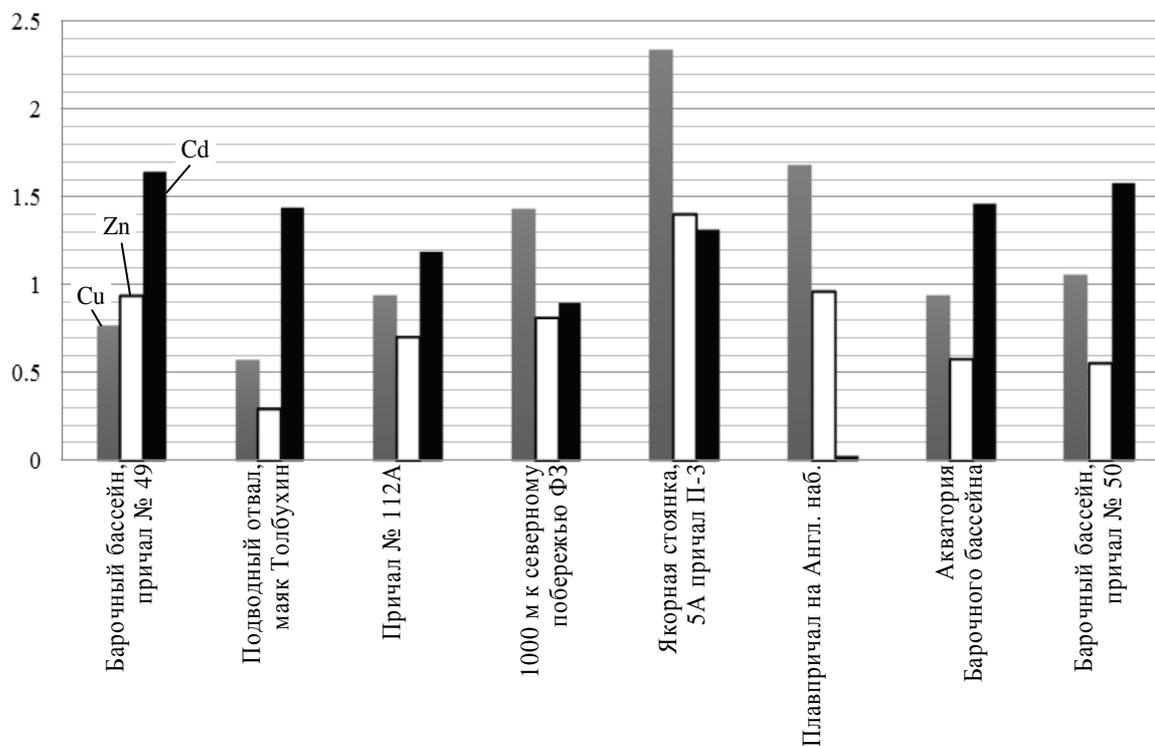


Рис. 5

Таким образом, произведен анализ существующих методов оценки состояния донных отложений. Систематизированы результаты экологического контроля загрязняющих веществ. Построены нормированные оценки и интегральные характеристики во времени и пространстве, позволяющие

определить наиболее загрязненные участки и разработать комплекс реабилитационных природоохранных мероприятий на основе принципа постоянных улучшений качества окружающей среды в системе экологического менеджмента акваторий и прилегающих территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обоснование обобщающего показателя качества экологического состояния донных отложений / А. А. Кленкин, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова, З. А. Термдашев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 8. С. 11–14.

2. Фокин Д. П., Фрумин Г. Т., Рыбалко А. Е. Содержание и распределение химических элементов в донных отложениях восточной части Финского залива // Экологическая химия. 2010. Вып. 4. С. 236–242.

3. Бреховских В. Ф., Казмирук Т. Н., Казмирук В. Д. Донные отложения Иваньковского водохранилища. М.: Наука, 2006. 253 с.

4. Базарский О. В. Механизмы образования донных осадков в водоемах // Материалы Второго молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив». Воронеж: Изд-во ВГУ, 2013. С. 9–14.

5. 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.

6. Соколова Т. В. Методика интегральной эколого-геохимической оценки донных отложений искусственно созданных водных объектов в условиях природного и техногенного. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2015. С. 40.

7. Комплексная оценка геоэкологической ситуации в районах подводных отвалов грунта акватории Финского залива / Н. И. Куракина, О. Э. Арнатская, В. М. Зайцев, А. А. Зорохов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 8. С. 71–76.

N. I. Kurakina, N. S. Shlygina

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ASSESSMENT OF A CONDITION OF GROUND DEPOSITS BY RESULTS OF CONTROL MEASUREMENTS THE CONCENTRATION OF POLLUTANTS IN EAST PART OF THE GULF OF FINLAND

The comparative analysis of the existing methods of assessment of a condition of ground deposits was made according to monitoring for the purpose of ensuring reliability of results. Approach of integrated estimation of quality of ground settlements with use of all set of results of measurements is offered. The state is investigated ground deposits in East Part of the Gulf of Finland, rated estimates and integrated characteristics in time and space are constructed for the purpose of identification of the most polluted sites.

Ground deposits, environmental control, rated estimates, integrated characteristics, GIS
