

10. Vinogradova M.G., Papulov Y.G. *Teoretiko-grafovye Metody v Himii: Uchebnoe Posobie*. [Theoretical and Graph Methods in Chemistry: Tutorial.] Tver: Tver State University, 2013. 88 p.
11. Vinogradova M.G. *Ketones Confractus Necessitudines in Industria. Secundum Numerum Basic Rationes et Leges. Technical Vestnik de Tver publica University. Series «Construction. Et electrica engineering eget technology»* 2019. No. 2 (2), pp. 70–78. (In Russian).
12. Pedley I.B., Naylor R.D., Kirly S.P. *Thermochemical Data of Organic Compounds*. London; New York: Chapman and Hall, 1986. 792 p.
13. *Termodinamicheskie Individuae Sunt Substantiae Proprietatibus* [Thermodynamic Properties of Individual Substances] / Ed. Glushko. Moscow: Science, 1978. Vol. 1, p. 495; CDXXXI. 1979. Vol. 2, p. 431.
14. Stall D., Vastra L., Zinke H. *Donec Termodinámica de Organic Composita* [Chemical Thermodynamics of Organic Compounds]. Moscow: Undique, 1971, p. 944.
15. *De Historiae Lange* [Lange's Handbook of Chemistry] / Editor: J.A. Dean. (15 Edition) Nabu. 1999. URL: <http://fptl.ru/biblioteka/spravo4niki/dean.pdf> (date of access: 10.12.2021).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

VINOGRADOVA Marina Gennadievna – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Professor of Physical Chemistry, Tver State University, 33, Zhelyabova st., Tver, 170100, Russia. E-mail: Vinogradova.MG@tversu.ru

KOZLOVA Rada Romanovna – Student of the Department of Physical Chemistry, Tver State University, 33, Zhelyabova St., Tver, 170100, Russia. E-mail: cozlovarada@yandex.ru

SAVEL'EVA Tat'yana Alekseevna – Student of the Department of Physical Chemistry, Tver State University, 33, Zhelyabova st., Tver, 170100, Russia. E-mail: savelievatanya13@gmail.com

CITATION FOR AN ARTICLE

Vinogradova M.G., Kozlova R.R., Savelyeva T.A. The Enthalpy of Formation of Diatomic Alcohols. Numerical Calculations and Basic Regularities // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical Engineering and Chemical Technology»*. 2021. No. 1 (9), pp. 71–79.

УДК 627.157:002.637(282.247.41)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Г.Н. Иванов, И.В. Кривенко, М.А. Смирнова, С.Р. Испирян
Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Иванов Г.Н., Кривенко И.В.,
Смирнова М.А., Испирян С.Р., 2021

Аннотация. Изучена актуальная проблема внутрихозяйственного землеустройства – оценка состояния водных объектов и общего уровня техногенной нагрузки на них. Отмечено, что одним из наиболее объективных и надежных показателей, необходимых для

такой оценки, является содержание тяжелых металлов в донных отложениях водного объекта. Систематизированы и описаны различные методики оценки загрязнения донных отложений тяжелыми металлами, основанные на использовании региональных кларков элементов в почвах и донных отложениях фоновых и условно фоновых территорий. Приведены и проанализированы методики расчета различных критериев, отражающих степень загрязненности донных отложений тяжелыми металлами, и сделаны выводы об экологических рисках.

Ключевые слова: землеустройство, состояние водного объекта, донные отложения, тяжелые металлы, степень загрязненности водных объектов.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-79-86

ВВЕДЕНИЕ

Внутрихозяйственное землеустройство носит комплексный характер. Оно включает вопросы мелиорации, водоснабжения, экологического состояния водных объектов.

Одним из наиболее объективных и надежных показателей состояния водного объекта и общего уровня техногенной нагрузки является содержание тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях (ДО), поскольку последние отражают многолетние процессы накопления и трансформации веществ в водном объекте.

С одной стороны, накопление ТМ в ДО способствует самоочищению водных объектов, а с другой – возникает опасность вторичного загрязнения воды в результате залпового выброса ТМ из ДО в связи с изменением внешних условий (взмучиванием ДО и др.) При проведении мелиоративных дноуглубительных работ в водных объектах возникают проблемы утилизации ДО или их использования для повышения плодородия почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Чтобы оценить техногенные воздействия на природные (в том числе водные) объекты, используют региональные кларки элементов в областях фоновых территорий, сходных с исследуемым объектом по каким-либо критериям (климатическим, ландшафтным и т.д.). Часто рассматривают также концентрации элементов на отдельных участках исследуемого объекта, принимаемых «условно фоновыми» (например, расположенных выше по течению от источника загрязнений). В геохимии применяются методики определения аномальных (повышенных или пониженных) концентраций элемента по отношению к его фону [1].

Важное значение в эколого-геохимических исследованиях имеет степень загрязненности ДО. Существующие критерии степени загрязнения можно разделить на два типа: градацию кратности превышения содержания элемента в ДО относительно фона и градацию с учетом токсического воздействия элемента на биоту водоема.

В основе критериев степени загрязнения ДО ТМ лежит коэффициент концентрации, определяемый формулой

$$K_c = \frac{C_n}{C_\phi}, \quad (1)$$

где C_n и C_ϕ – фактическое и фоновое содержание элемента в пробе, мг/кг.

В качестве фона иногда применяют критерии качества ДО – уровни условно-безопасного содержания ТМ в седиментах.

Для оценки накопления ТМ в ДО используют показатель накопления ПН:

$$ПН = \frac{C_i - C_\phi}{C_\phi} 100 \%, \quad (2)$$

где C_i и C_ϕ – концентрации i -го элемента на рассматриваемом участке водного объекта и на фоновом.

Чтобы дать оценку загрязнения n -му числу ТМ, используют средний коэффициент концентрации:

$$K_{C\Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Ci}}{n} \quad (3)$$

При выработке критерия степени загрязнения необходимо четко выделить градацию уровней загрязнения, без которой сложно судить о степени техногенной нагрузки.

Например, для каждого i -го пункта наблюдения суммируется коэффициент концентрации (K_{Cj}) всех определяемых j -х металлов: $K_{Ci} = \sum K_{Cj}$. Затем проводится так называемое триадное приближение для каждого i -го пункта:

$$K'_{C\phi} = 1 + (100 - 1) \frac{K_{Ci} - K_{Cmin}}{K_{Cmax} - K_{Cmin}}, \quad (4)$$

где K_{Cmin} и K_{Cmax} – минимальный и максимальный K_{Ci} среди всех i -х пунктов наблюдения. Использование формулы (4) позволяет ввести градацию загрязнения от 1 до 100.

Одним из критериев техногенного загрязнения ДО является предложенный Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов суммарный показатель загрязнения Z_c , который рассчитывается для каждого пункта наблюдений по формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{Ci} + (n - 1), \quad (5)$$

где K_{Ci} – коэффициент концентрации i -го элемента; n – число определяемых элементов.

Градация суммарного показателя загрязнения Z_c (для 15 элементов, включенных Минздравом РФ в три класса опасности): допустимый (0–16); умеренно опасный (17–64); опасный (≥ 65).

Суммарный показатель загрязнения C_d , учитывающий верхнюю вероятностную статистическую границу разброса фонового содержания элементов в ДО, основан на суммировании превышения концентраций n -го количества определяемых элементов в ДО над фоновыми:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi}, \quad (6)$$

где C_{fi} – коэффициент загрязнения i -м элементом:

$$C_{fi} = \frac{C_i}{C_{\phi i} + S_{\phi i}}, \quad (7)$$

где $S_{\phi i}$ – стандартное отклонение фонового содержания i -го элемента C_{fi} .

Для одного элемента $C_f < 1$ – низкий коэффициент загрязнения; $1 \leq C_f < 3$ – умеренный; $3 \leq C_f < 6$ – значительный; $C_f \geq 6$ – очень высокий (серьезное антропогенное загрязнение).

Для n -го количества элементов градация C_d выглядит следующим образом: незагрязненные ДО – $C_d < (n - 1)$; умеренно загрязненные – $(n - 1) \leq C_d < 2(n - 1)$; значительно загрязненные – $2(n - 1) \leq C_d < 4(n - 1)$; сильно загрязненные (до чрезвычайно загрязненных – $C_d \geq 4(n - 1)$) [2].

В последние годы широкое применение в геоэкологических исследованиях получила методика Г. Мюллера [3, 4]. Для оценки загрязнения водного объекта ТМ используются данные по содержанию ТМ во фракции ДО менее 20 мкм и рассчитываются так называемые $I_{\text{гео}}$ -классы. Доказано, что именно во фракции ДО менее 20 мкм (по европейской классификации – глины) наиболее активно сорбируются микроэлементы. Учитываются различия в гранулометрическом составе проб ДО, отобранных на различных участках водных объектов.

«Индексы геоаккумуляции» (или $I_{\text{гео}}$ -классы) определяются уравнением, лежащим в основе разделения по классам качества:

$$I_{\text{гео}, n} = \log_2(C_n/1,5 B_n), \quad (8)$$

где C_n – измеренная концентрация элемента n в ДО (фракция менее 20 мкм); $1,5 B_n$ – фоновая концентрация элемента n (в глинах), которая устанавливается по данным источника [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 1 приведены значения концентраций основных металлов по $I_{\text{гео}}$ -классам. На основе $I_{\text{гео}}$ -классов определен уровень загрязнения водных объектов (табл. 2).

Таблица 1

Значения концентраций основных металлов по $I_{\text{гео}}$ -классам, мг/кг

Элемент	$I_{\text{гео}}$ -классы						
	0	1	2	3	4	5	6
Fe	7,08	14,16	28,32	56,64	>56,64	–	–
Mn	1 275	2 550	5 100	10 200	20 400	40 800	>40 800
Cd	0,45	0,9	1,8	3,6	7,2	14,4	>14,4
Zn	142,5	285	570	1 140	2 280	4 560	>4 560
Pb	30	60	120	240	480	960	>960
Cu	67,5	135	270	540	1 080	2 160	>2 160
Ni	102	204	408	816	1 632	3 264	>3 264
Cr	135	270	540	1 080	2 160	4 320	>4 320
Hg	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	>19,2

Таблица 2

Классы загрязненности ДО

$I_{\text{гео}}$ -класс	Уровень загрязнения ДО
0	Незагрязненные
1	Незагрязненные (до умеренно загрязненных)
2	Умеренно загрязненные
3	Среднезагрязненные
4	Сильно загрязненные
5	Сильно загрязненные (до чрезвычайно загрязненных)
6	Чрезвычайно загрязненные

Международными природоохранными организациями предложены критерии качества ДО для условной оценки степени загрязнения водных объектов (табл. 3) [5].

Таблица 3

Сравнительная оценка загрязненности ДО

Уровень загрязнения ДО	Содержание элементов, мг/кг					
	Zn	Pb	Cu	Cd	Cr	Hg
Незагрязненные	<90	<40	<25	–	<25	<1,0
Умеренно загрязненные	90–200	40–60	25–50	–	25–75	–
Сильно загрязненные	>200	>60	>50	>6	>75	>1,0

Критерии токсичности необходимы для оценки, так как при поступлении загрязнителей из ДО в воду (вторичном загрязнении) создается опасность токсического воздействия на биоту водоема.

Наиболее информативным для оценки токсичности загрязнений ТМ можно считать индекс потенциального экологического риска RI [5, 6], который находится как сумма потенциальных экологических рисков E_r для каждого элемента:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_{ri}. \quad (9)$$

Для i -го элемента в ДО индекс риска устанавливается по формуле

$$E_{ri} = T_{ri} C_{fi}, \quad (10)$$

где C_{fi} – коэффициент загрязнения, определяемый по выражению (7); T_{ri} – коэффициент токсичности i -го элемента, сформулированный по уравнению

$$T_{ri} = \frac{A_i \cdot \sqrt{5}}{\sqrt{BPI}}, \quad (11)$$

где BPI – индекс биопродуктивности водоема, устанавливаемый на основе зависимости между BPI и содержанием общего фосфора в воде; A_i – коэффициент токсичности i -го элемента, равный 90 для Hg, 30 для Cd, 8 для Co, 5 для Pb, 3 для Ni и Cu, 1 для Zn.

Градация потенциального экологического риска E_r : низкий – $E_r < 40$; умеренный – $40 \leq E_r < 80$; значительный – $80 \leq E_r < 160$; высокий – $160 \leq E_r < 320$; очень высокий – $E_r \geq 320$.

Градации риска: низкий – $RI < 150$; умеренный – $150 \leq RI < 300$; значительный – $300 \leq RI < 600$; очень высокий – $RI \geq 600$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе приведенных выше методик исследованы водные объекты Тверской области и рассчитаны уровни загрязнения ДО ТМ таких значимых объектов, как озеро Селигер [4], участок Верхней Волги от истока до Угличского водохранилища [2] и др. Составлены подробные карты загрязнений ДО ТМ. Методики оценки уровней загрязнения ДО ТМ, систематизированные в настоящей работе, подтвердили свою эффективность на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. М.: Лотос, 2000. 627 с.
2. Косов В.И., Левинский В.В., Косова И.В. Экология Верхневолжской водной системы. Тверь: Булат, 2003. 180 с.
3. Muller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins: Veranderungen Seitt 1971. *Umschau*. 1979. Vol. 79, pp. 778–783.
4. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Аверкина Т.И., Самарин Е.Н., Иванов Г.Н., Мюллер Г., Яхья А. Загрязнение водных экосистем озера Селигер тяжелыми металлами // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2004. № 5. С. 43–46.
5. Kwon Y.-T., Lee C.-W. Application of Multiple Ecological Risk Indices for the Evaluation of Heavy Metal Contamination in a Coastal Dredging Area. *The Science of the Total Environment*. 1998. Vol. 214, pp. 203–210.
6. Kwon Y.-T., Lee C.-W. Sediment Metal Speciation for the Ecology Risk Assessment. *Analytical Science*. 2001. Vol. 17 (5), pp. 653–658.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ИВАНОВ Григорий Николаевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры горного дела, природообустройства и промышленной экологии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: ivanovgrigoriy@mail.ru

КРИВЕНКО Ирина Валерьевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры общей физики, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: krivenko-irina@mail.ru

СМИРНОВА Марина Анатольевна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информатики и прикладной математики, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: mar-smir@yandex.ru

ИСПИРЯН Светлана Рафаиловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общей физики, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: ispirian-tstu@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Иванов Г.Н., Кривенко И.В., Смирнова М.А., Испирян С.Р. Методы оценки загрязнения донных отложений тяжелыми металлами // Вестник Тверского государственного тех-

нического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2021. № 1 (9). С. 79–86.

METHODS FOR ESTIMATING POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS WITH HEAVY METALS

G.N. Ivanov, I.V. Krivenko, M.A. Smirnova, S.R. Ispirian
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The paper deal with learning actual problem on-farm land management that is estimating of the state of water bodies and the overall level of their technogenic load. It is noted that one of the most objective and reliable indicators required for such estimating is the content of heavy metals in the bottom sediments of a water body. We are systematized and described various methods for estimating pollution of bottom sediments with heavy metals, which based on the using the regional clarks of the content the elements in the soils and bottom sediments of background and conditionally background territories. Methods for calculating various criteria that reflect the degree of pollution the bottom sediments with heavy metals and conclusions about environmental risks based on such calculations are presented and analyzed.

Keywords: land management, state of the water body, bottom sediments, heavy metals, pollution degree of water bodies.

REFERENCES

1. Alekseenko V.A. *Ekologicheskaya Geoximiya*. Moscow: Lotos, 2000. 627 p. (In Russian).
2. Kosov V.I., Levinskij V.V., Kosova I.V. *Ekologiya Verxnevolzhskoj Vodnoj Sistemy*. Tver: Bulat, 2003 180 p. (In Russian).
3. Muller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins: Veranderungen seitt 1971. *Umschau*. 1979. Vol. 79, pp. 778–783.
4. Kolomijcev N.V., Korzhenevskij B.I., Ilina T.A., Averkina T.I., Samarin E.N., Ivanov G.N., Muller G., Yahia A. Zagryaznenie vodnyx ekosistem ozera Seliger tyazhelymi metallami. *Melioraciya i Vodnoe Khozajstvo*. 2004. No. 5, pp. 43–46. (In Russian).
5. Kwon Y.-T., Lee C.-W. Application of Multiple Ecological Risk Indices for the Evaluation of Heavy Metal Contamination in a Coastal Dredging Area. *The Science of the Total Environment*. 1998. Vol. 214, pp. 203–210.
6. Kwon Y.-T., Lee C.-W. Sediment Metal Speciation for the Ecology Risk Assessment. *Analytical Science*. 2001. Vol. 17 (5), pp. 653–658.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

IVANOV Grigory Nikolaevich – Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mining, Environmental Management and Industrial Ecology, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ivanovgrigoriy@mail.ru

KRIVENKO Irina Valer'ena – Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Physics, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: krivenko-irina@mail.ru

SMIRNOVA Marina Anatol'evna – Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics and Applied Mathematics, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: mar-smir@yandex.ru

ISPIRYAN Svetlana Rafailovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Physics, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ispirian-tstu@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Ivanov G.N., Krivenko I.V., Smirnova M.A., Ispirian S.R. Methods for Estimating Ollution of Bottom Sediments with Heavy Metals // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical Engineering and Chemical Technology». 2021. No. 1 (9), pp. 79–86.

УДК 539.2

ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ СН-ЭВМ: ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

И.А. Саврасов

ООО СК «ИнжГидроПроектСтрой» (г. Санкт-Петербург)

© Саврасов И.А., 2021

Аннотация. Рассмотрен химический состав образцов, использованных в исследованиях процессов сложного деформирования материалов на автоматизированном испытательном комплексе СН-ЭВМ Тверского государственного технического университета. Состав оценивался газообъемным, титриметрическим и гравиметрическим методами. Сделан вывод о его соответствии марке стали 45 по ГОСТ 1050-88.

Ключевые слова: сложное деформирование материалов, титриметрический метод, химический состав, силоизмеритель.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-86-90

При изучении процессов сложного деформирования материалов и их структуры были использованы трубчатые цилиндрические образцы и проведено экспериментальное исследование их напряженно-деформированного состояния при растяжении с кручением в пространстве деформаций (рис. 1). Образцы из стали 45 с толщиной стенки $h = 1$ мм, радиусом срединной поверхности $R = 15,5$ мм, длиной рабочей части $l = 110$ мм подвергались деформированию при $\sigma_t = 320$ МПа. Материал образцов был начально изотропен. Модуль упругости образцов $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$. При обработке экспериментальных данных принималось условие несжимаемости ($\varepsilon_0 = 0$).