

промышленной и транспортной зонах. По сравнению с незаасфальтированными почвами экраноземы имеют в 5 раз более высокое содержание БП и в 2 раза – НП.

Таблица – Физико-химические и химические свойства экранозёмов различных зон ВАО г. Москвы

Показатель	Глубина, см	Гумус, %	pHвод	TDS, мСм/см	Физическая глина, %	БП, мг/кг	НП, мг/кг
промышленная (n = 12)							
Среднее		2,90	8,11	0,173	22,7	9 211	21443
min-max	3-55	0,42-5,73	7,55-8,73	0,093-0,334	9,4-36,6	0,114-25 554	225-68 144
транспортная (n = 7)							
Среднее		3,85	7,87	0,174	24,5	0,146	5714
min-max	4-61	0,10-12,1	7,32-8,65	0,083-0,45	4,1-36,7	0,001-0,934	27-30 800
селитебная (n = 15)							
Среднее		3,64	8,19	0,26	24,0	1 003	679
min-max	5-68	0,05-10,1	7,29-9,37	0,1-0,987	14,1-38,5	<0,001-15 049	<5-4 084
рекреационная (n = 5)							
Среднее		6,80	7,28	0,0804	20,1	0,204	4012
min-max	5-60	2,53-10,9	6,49-7,70	0,059-0,116	10,5-26,4	0,003-0,540	20-14 500
экрanoземы ВАО в целом (n = 39)							
Среднее		3,86	7,99	0,195	23,2	3 220	8399
min-max	3-68	0,05-12,1	6,49-9,37	0,059-0,45	4,1-38,5	<0,001-25 554	<5-68 144
незаасфальтированные почвы ВАО (n = 52)							
Среднее	0-20	5,76	7,8	0,48*	33,0	644	4 022
фоновые дерново-подзолистые почвы Мещёры (n = 12)							
Среднее	0-25	1,25	4,9	0,03*	12,0	3,4	0,00

Примечание. \* – плотный остаток солей, %.

*Выводы.* Морфология, физико-химические и химические свойства экранозёмов специфичны, неоднородны по функциональным зонам и существенно отличаются от незапечатанных почв, поэтому при мониторинге они требуют отдельного изучения и рассмотрения. Экранирование почв асфальтобетоном не является препятствием для проникновения в них техногенных потоков загрязнителей – токсичных ЛС, БП и НП, которые способны накапливаться под асфальтом в экстремально высоких концентрациях на техногенных педогеохимических барьерах (щелочном, хемосорбционном и др.). При вскрытии асфальта токсиканты могут мигрировать в сопредельные компоненты ландшафтов и включаться в биологический круговорот, создавая экологическую опасность для здоровья горожан.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-41024).

1. Касимов Н. С., Никифорова Е. М., Кошелева Н. Е., Хайбрахманов Т. С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 2. Ландшафтно-геохимическая карта // Геоинформатика. 2013. № 1. С. 28–32.

2. Прокофьева Т. В. Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями (на примере г. Москвы). М.: МГУ, 1998. 24 с.

3. Прокофьева Т. В., Мартыненко И. А., Иванников Ф. А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.

4. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Н. С. Касимов, В. Р. Битюкова, С. М. Малхазова и др. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.

5. Экологические требования к почвам и грунтам г. Москвы / Под ред. Н. Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2005. 32 с.

УДК 556.4

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

**Е. П. Овчарова, О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, В. С. Хомич**

Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины 10,  
220114 Минск, Республика Беларусь; geosystem1@rambler.ru

Донные отложения являются одним из наиболее информативных компонентов водных экосистем при проведении экологической оценки. Обладая высокой сорбционной способностью и аккумулируя загрязняющие вещества, которые поступают в водный объект на протяжении продолжительного периода, донные отложения выступают в качестве индикатора экологического состояния водного

объекта и его водосбора. Несмотря на их важную роль в оценке экологического состояния водных экосистем, в Беларуси для донных отложений не разработаны нормативы или шкалы, позволяющие определить опасность их загрязнения, уровень антропогенной нагрузки и экологический риск. Как правило, для оценки загрязнения и опасности донных отложений тяжёлыми металлами используют ОДК/ПДК, разработанные для почв, а в качестве фоновых величин – валовое содержание в почвах фоновых территорий [1, 2].

В то же время, согласно [3–8], для оценки загрязнения донных отложений можно использовать ряд геохимических критериев, для которых разработаны соответствующие шкалы, позволяющие оценить уровень загрязнения, вклад антропогенных источников и опасность загрязнённых донных отложений для водных экосистем. Описание данных критериев приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Геохимические критерии оценки загрязнения донных отложений тяжёлыми металлами

Геохимический критерий	Описание
Коэффициент концентрации ( $K_c$ ) [3]	Характеризует уровень концентрирования элемента в донных отложениях относительно его фонового содержания. В расчёты включаются элементы со значениями $K_c$ не менее 1,5
Коэффициент загрязнения (Contamination Factor) ( $K_c$ ) [6]	Аналог коэффициента концентрации ( $K_c$ )
Коэффициент обогащения (Enrichment Factor) ( $K_o$ ) [8]	Характеризует нормированный по железу уровень концентрирования элемента в донных отложениях относительно его фонового содержания. Позволяет оценить вклад антропогенных источников
Коэффициент среднего накопления ( $R_x$ ) [3]	Представляет собой среднее арифметическое суммы значений коэффициентов концентрации элементов (с $K_c$ выше 1,5) и характеризует среднюю интенсивность загрязнения донных отложений
Индекс суммарного загрязнения (Pollution Load Index) (ИСЗ) [4]	Интегральный показатель уровня загрязнения донных отложений тяжёлыми металлами, который отражает кратность превышения содержания тяжёлых металлов над фоновыми значениями
Геоаккумуляционный индекс (Geoaccumulation Index) ( $I_{geo}$ ) [5, 7]	Позволяет оценить степень загрязнения донных отложений по семи классам
Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) [3]	Представляет собой сумму коэффициентов концентрации элементов (с $K_c$ выше 1,5) за вычетом фона, отражает аддитивное превышение фонового уровня и характеризует уровень техногенного загрязнения
Показатель санитарно-токсикологической опасности ( $Z_{ст}$ ) [3]	Представляет собой сумму $K_c$ (без фона) для химических элементов 1 и 2-го классов опасности, с корректировкой учитываемых элементов. Этот показатель характеризует степень потенциальной санитарно-токсикологической опасности донных отложений как вещества.

Так, если коэффициент загрязнения (концентрации) позволяет выявить тяжёлые металлы, для которых наблюдается процесс накопления (загрязнения) без учёта их происхождения (естественного или антропогенного), то коэффициент обогащения – выделить антропогенную составляющую загрязнения для каждого элемента. Такие геохимические критерии, как коэффициент среднего накопления, индекс суммарного загрязнения и суммарный показатель загрязнения, могут использоваться для отражения уровня загрязнения донных отложений в целом. Геоаккумуляционный индекс даёт возможность выделить 7 классов загрязнения для каждого микроэлемента, а показатель санитарно-токсикологической опасности характеризует степень потенциальной опасности для водных организмов. Приведённые геохимические критерии были использованы при оценке загрязнения донных отложений р. Свислочи. Диапазоны указанных критериев приведены в табл. 2.

Сравнительный анализ перечисленных выше геохимических критериев, выполненный на основе данных по валовому содержанию тяжёлых металлов в донных отложениях р. Свислочи, отобранных в местах с различным уровнем антропогенной нагрузки, показал правомерность их использования при оценке загрязнения. Однако следует отметить, что такой критерий как индекс суммарного загрязнения нивелирует уровень загрязнения донных отложений. Если фиксируется небольшая кратность превышения ПДК для отдельных тяжёлых металлов, донные отложения в целом могут попасть в разряд незагрязнённых (ИСЗ менее 1). Такая ситуация зафиксирована в районе п. г. т Подлесье: ИСЗ донных отложений составил 0,8 (отсутствие загрязнения), несмотря на то, что валовое содержание Zn здесь превысило ПДК/ОДК в 1,4 раза, что свидетельствует о поступлении данного элемента за счёт антропогенных источников и подтверждается значениями  $K_o$ .

Таблица 2 – Оценочные диапазоны геохимических критериев

Геохимический критерий	Оценочный диапазон
Коэффициент концентрации	Не менее 1,5
Коэффициент загрязнения	Менее 1 – низкий уровень загрязнения (отсутствует); 1–3 – средний; 3–6 – значительный; более 6 – очень высокий
Коэффициент обогащения	0,5–1,5 – природное происхождение элементов, отсутствие антропогенной нагрузки; более 1,5 – поступление за счёт антропогенных источников
Индекс суммарного загрязнения	менее 1 свидетельствует об отсутствии загрязнения, более 1 – о загрязнении
Геоаккумуляционный индекс	$I_{\text{гео}}$ менее 0 (0 класс) – незагрязнённые; 0–1 (1 кл.) – между незагрязнёнными и умеренно загрязнёнными; 1–2 (2 кл.) – умеренно загрязнённые; 2–3 (3 кл.) – между умеренно и сильно загрязнёнными; 3–4 (4 кл.) – сильно загрязнённые; 4–5 (5 кл.) – между сильно и экстремально загрязнёнными; более 5 (6 кл.) – экстремально загрязнённые
Суммарный показатель загрязнения	менее 10 – слабый уровень техногенного загрязнения; 10–30 – средний; 30–100 – высокий; 100–300 – очень высокий; более 300 – чрезвычайно высокий
Показатель санитарно-токсикологической опасности	менее 10 – допустимая степень; 10–30 – умеренная; 30–100 – опасная; 100–300 – очень опасная; более 300 – чрезвычайно опасная

Так, значения коэффициента концентрации более 1,5 получены для тяжёлых металлов в 3-х точках опробования: ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» (Pb ( $K_z = 2,1$ ), Zn (7,1), Cu (6,5) и Cr (1,6)), в районе п. г. т. Подлесье (Zn (2,4) и Cr (1,6)) и ниже выпуска МОСА (Cd (3,3), Zn (10,7), Cu (6,8), Ni (5,4), Co (1,5) и Cr ( $K_z=33,8$ )).

Обобщив полученные результаты по расчётам коэффициента обогащения ( $K_o$ ), можно отметить незначительную антропогенную нагрузку ( $K_o$  менее 1,5) на всём протяжении р. Свислочи по Mn. Значительную антропогенную нагрузку ( $K_o$  более 1,5) ниже по течению от п. г. т. Дрозды река испытывает по Zn, Cu и Cr, а на наиболее урбанизированном её участке (г. Минск) – еще и по Pb, Cd, Co и Ni. Максимальные значения  $K_o$  для Pb, Zn и Cu (5,2, 17,1 и 15,8 соответственно) получены для донных отложений ниже выпуска дождевого коллектора «Центр». Указанные тяжёлые металлы являются типичными загрязнителями поверхностного стока, поступающего с городской территории в целом и с транспортной зоны в частности.

Согласно расчётам  $I_{\text{гео}}$ , классу загрязнения выше 2 соответствуют донные отложения реки только на двух участках: ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» по Cu и Zn – 3 класс (между умеренно и сильно загрязнёнными) и ниже выпуска МОСА по Cd и Ni – 2 класс (умеренно загрязнённые), Zn и Cu – 3 класс (между умеренно и сильно загрязнёнными), Cr – 5 класс (между сильно и экстремально загрязнёнными), что еще раз подтверждает значительную антропогенную нагрузку на р. Свислочь за счёт поверхностного стока и нормативно очищенных сточных вод. Донные отложения р. Свислочи в районе п. г. т. Хмелевка, Дрозды и Свислочь, а также в Осиповичском водохранилище, согласно классификации, относятся к незагрязнённым (класс 0). От незагрязнённых до умеренно загрязнённых в зависимости от изучаемого металла классифицируются донные отложения реки в районе п. г. т. Подлесье.

В соответствии с суммарным показателем загрязнения высокий уровень техногенного загрязнения донных отложений зафиксирован ниже МОСА, средний – ниже выпуска дождевого коллектора «Центр» и слабый – в районе п. г. т. Подлесье. Степень санитарно-токсикологической опасности соответствует допустимой.

1. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004: Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве / Министерство здравоохранения Республики Беларусь. Мн., 2005.

2. Натаров В. М., Лукашёв О. В., Савченко В. В. Комплексный геохимический фоновый мониторинг в Березинском биосферном заповеднике. Мн.: Белорусский дом печати, 2013. 214 с.

3. Янин Е. П. Техногенные илы в реках Московской области (геохимические особенности и экологическая оценка). М.: ИМГРЭ, 2004. 95 с.

4. Chatterjee M., Massolo, S., Sarkar, S.K. et al. An assessment of trace element contamination in intertidal sediment cores of Sunderban mangrove wetland, India for evaluating sediment quality guidelines // Environ Monit Assess. DOI 10.1007/s10661-008-0232-7. Springer, 2009. P. 307–322.

5. Forstner U., Ahlf W., Calmano W., Kersten M., Schoer J. Assessment of metal mobility in sludges and solid wastes // Metal Speciation in the Environ. // Ecological Sci. Series G. 23. Springer, 1990. P. 1–41.

6. Martin, J., Whitfield M. M. The significance of the river input of chemical elements to the ocean // Trace Elements in Seawater: Plenum. New York, 1983. P. 265–296.

7. Muller G. Index of geoaccumulation in the sediments of the Rhine River // *Geojournal*. 1969. 2. P. 108–118.

8. Pandey J., Singh R. Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences // *Appl Water Sci*. DOI 10.1007/s13201-015-0334-7. Springer, 2015.

УДК 550.4:550.424:631.4 (476)

## КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ БЕЛАРУСИ К САМООЧИЩЕНИЮ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

М. П. Оношко<sup>1</sup>, А. С. Глаз<sup>2</sup>, Л. И. Смыкович<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Филиал «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ по геологии»,  
ул. Купревича 7, 220141 Минск, Республика Беларусь; onoshko@geology.org.by

<sup>2</sup> Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Ф. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup> Белорусский государственный университет, географический факультет,  
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь

При территориальной оценке потенциальной способности почв к самоочищению от нефти и нефтепродуктов (НП) учитывались основные природные факторы, влияющие на физико-химическое и биологическое разложение, а также механическое рассеяние загрязняющих веществ. Соотношение благоприятных и неблагоприятных факторов этих процессов является основанием для отнесения почв к группе с низкой, средней или высокой способностью к физико-химической и биологической деградации и слабым, умеренным или сильным механическим рассеянием [1]. Для почв Беларуси нами создан ГИС-проект «Способность почв республики к самоочищению от нефти и нефтепродуктов», в котором проведён пространственный анализ свойств природной среды Беларуси, влияющих на условия аккумуляции, выноса и деградации НП. При подготовке материала статьи были использованы рекомендации, изложенные в работах [1, 2].

Для разработки данного ГИС-проекта за основу была взята оцифрованная почвенная карта республики масштаба 1 : 500 000. В дополнение к ней были созданы слои: элементарных ландшафтов Республики Беларусь, осадков за тёплый период года (апрель–октябрь), среднегодового количества осадков, продолжительности безморозного периода в воздухе, количества дней в году с температурой воздуха выше +15 °С, среднегодового модуля стока рек Беларуси. Исходные карты были взяты из опубликованных источников [3–5]. Цифровые версии этих карт дали возможность дополнить поля атрибутивной таблицы почвенной карты климатическими, гидрологическими и ландшафтными данными по каждому почвенному контуру.

Структурно ГИС-проект «Способность почв республики к самоочищению от нефти и нефтепродуктов» подразделяется на несколько блоков:

1 – блок базы данных: почвенная, ландшафтная, климатические и гидрологические карты Республики Беларусь, атрибутивная таблица к почвенной карте, в которой суммируются все необходимые эколого-геохимические данные, привязанные к типам почв;

2 – блоки аналитических и промежуточных суммирующих карт:

а) блок *деградации углеводов*, включающий две аналитические и одну суммирующую карту относительной способности почв к разложению НП;

б) блок *аккумуляции углеводов*, также включающий две аналитические и одну суммирующую карту относительной способности почв к аккумуляции (закреплению) НП в почвенном профиле;

в) блок *выноса углеводов*, включающий две аналитические и одну суммирующую карту относительной способности почв к выносу НП за пределы почвенного профиля;

3 – блоки окончательных суммирующих карт:

а) суммирующая карта *способности почв к механическому рассеиванию НП*;

б) итоговая карта *потенциальной способности почв к самоочищению от НП*.

Для блока *деградации углеводов* (2а) были построены две промежуточные (аналитические) карты группировки почв по: 1) физико-химической активности; и 2) биологической активности разложения НП и промежуточная суммирующая (интегральная) карта относительной способности почв к разложению НП.

Активность физико-химического разложения углеводов зависит от факторов окисления (окислительно-восстановительный режим почвы) и факторов испарения (тепловой режим почв). Пер-