

УДК 504.45

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РЕГИОНАЛЬНЫХ ФОНОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

**Д. В. Иванов, В. С. Валиев, Р. Р. Шагидуллин**

*Институт проблем экологии и недропользования АН Республики Татарстан, Казань, Россия*

Современные подходы к экологическому нормированию предполагают установление региональных фоновых концентраций загрязняющих веществ в объектах окружающей среды, на основе которых можно проводить объективную оценку геоэкологической ситуации на определенном пространственном уровне с применением данных мониторинга. Для донных отложений (ДО) водных объектов определение регионального фона загрязняющих веществ, имеющих природные аналоги, приобретает особую актуальность в связи с отсутствием аналогичных санитарно-гигиенических нормативов их пороговых концентраций на федеральном уровне. Углеводороды нефти, определяемые процедурой инструментального анализа как нефтепродукты, являясь структурными компонентами природного органического вещества, поступают в водные объекты и из антропогенных источников, а их накопление в ДО ведет к вторичному загрязнению водных масс и изменению структурно-функциональных характеристик водных экосистем. Установление фоновых уровней нефтяных углеводородов в ДО требует обязательного учета их природной составляющей. На основе репрезентативного материала с применением вариационно-статистического подхода выполнены расчеты фоновых концентраций нефтяных углеводородов в ДО водоемов Республики Татарстан, дифференцирующие природные показатели их накопления в осадках рек, образованных на них водохранилищ и озер региона. Структура изменчивости содержания нефтяных углеводородов в ДО представлена соотношением трех факторов: гидрологическим режимом, содержанием органического вещества и гранулометрическим составом отложений. Фоновые значения и верхние пределы природного содержания нефтепродуктов, превышение которых свидетельствует о наличии загрязнения, установлены с учетом доли биогенной составляющей и пелитовой фракции (< 0,01 мм) в составе отложений. Базовым значением фоновых концентраций нефтепродуктов в ДО является медиана ряда; его верхний квартиль служит критерием, по которому оценивается, находится ли полученное значение в пределах фона. Минимальное фоновое содержание нефтепродуктов – от 45 до 180 мг/кг (верхний предел 100–475 мг/кг) – характерно для речных и водохранилищных отложений. В озерных осадках, где в связи с гидрологическими и продукционными особенностями возрастает доля органического материала и тонкодисперсных частиц, фоновое содержание нефтепродуктов оценивается кратно большей величиной – 90–320 мг/кг, а верхние пределы фонового содержания – в 195–510 мг/кг.

**Ключевые слова:** нефтепродукты; фон; донные отложения; экологическое нормирование; водные объекты; статистический анализ.

## **D. V. Ivanov, V. S. Valiev, R. R. Shagidullin. STATISTICAL APPROACH TO ESTIMATING REGIONAL BACKGROUND CONCENTRATIONS OF PETROLEUM HYDROCARBONS IN SEDIMENTS**

Modern approaches to environmental regulation require that regional background concentrations of pollutants in environmental objects are set to serve as the basis for an objective assessment of the geocological situation at a certain spatial level using monitoring data. The determination of the regional background levels of pollutants in sediments is particularly relevant due to the lack of matching sanitary standards for their permissible concentrations in the Russian Federation. Petroleum hydrocarbons, being structural components of natural organic matter, enter water bodies also from anthropogenic sources. Their accumulation in sediments leads to secondary water pollution and alteration of the structural and functional characteristics of the aquatic ecosystems. The natural component of petroleum hydrocarbons must be taken into account when determining their background levels in sediments. Based on representative material and using a statistical approach, the background concentrations of petroleum hydrocarbons in sediments of rivers, storage reservoirs and lakes of the Republic of Tatarstan were calculated. The structure of the variability in the content of petroleum hydrocarbons in the sediments is represented by the ratio of three factors: the hydrological conditions, organic matter content, and the particle size distribution (the pelite fraction content) of the sediments. The baseline value of the background concentration of petroleum hydrocarbons in sediments of water bodies in the Republic of Tatarstan is the median of the series, and its upper quartile serves as the criterion telling whether the value is within the regional background. Minimal background concentrations of petroleum hydrocarbons – 45 to 180 mg/kg (the upper limit of 100–475 mg/kg) – are typically found in the sediments of rivers and storage reservoirs. In lake sediments, where the proportion of organic matter and clay particles is higher due to hydrological and production characteristics, the background content of petroleum hydrocarbons is estimated to be much higher – 90–320 mg/kg, and the upper limits of the background content are 195–510 mg/kg.

**Key words:** petroleum hydrocarbons; background; sediments; environmental regulation; water bodies; statistical analysis.

### **Введение**

Одной из групп загрязняющих веществ, присутствующих в абиотических компонентах наземных и водных экосистем в качестве природных составляющих разнообразных органических соединений, с одной стороны, и накапливающихся в них в результате антропогенного воздействия, с другой, являются углеводороды, которые детектируются в природных объектах посредством физико-химического анализа как «нефтепродукты». Их концентрации в депонирующих средах (почвах и донных отложениях (ДО)) в Российской Федерации не нормируются, из-за чего возникает неопределенность при выполнении различного рода экологических и санитарно-гигиенических регламентов, требующих оценочных критериев состояния природных и урбанизированных территорий.

Для нефтедобывающих регионов оценка природной и антропогенной составляющих нефтяных углеводородов (НУ) в ДО представляет особую практическую значимость, так как именно она призвана обеспечивать принятие управленческих решений в сфере экологиче-

ской безопасности территорий и сохранения здоровья населения.

Сложность установления нормативов содержания НУ, накапливаемых в ДО, обусловлена отмеченным выше обстоятельством, что углеводороды не являются инородными для водных экосистем веществами, так как биота производит достаточно большое количество природных их аналогов – структурных компонентов органического вещества [Castaceda, Schouten, 2011; Pu et al., 2011; Паничева и др., 2012; Валиев и др., 2020].

Для пороговых оценок накопления загрязняющих веществ, в т. ч. НУ, в ДО на практике применяется три основных подхода, условно обозначаемых как статистический, токсикологический и биоиндикационный. Статистический подход основан на показателях варьирования содержания НУ в ДО; токсикологический (экспериментальный) подход ориентирован на токсикологические наблюдения за объектами биотестирования; в основу биоиндикационного подхода положен экологический принцип – оценка влияния исследуемых веществ на представителей трофических звеньев биоценоза и среду их обитания [Исаченко-Боме, Михайлова, 2008].

В последнее время в связи с активным развитием аналитической базы и экспресс-методов исследования широкое распространение получил статистический подход, который опирается на однозначно трактуемые статистические распределения концентраций НУ и статистические оценки факторов, способствующих их накоплению в ДО. В качестве подобных факторов чаще всего рассматривают два основных: содержание органического вещества (по потерям при прокаливании, ППП) [Михайлова, Исаченко-Боме, 2012; Паничева и др., 2012; Степанова и др., 2015; Garcia et al., 2019] и гранулометрический состав – как правило, содержание в ДО мелкодисперсных фракций [Московченко, 2001; Белкина и др., 2008; Исаченко-Боме, Михайлова, 2008; Белкина, 2011].

Иными словами, содержание НУ в отложениях характеризуется с позиций оценки их фактического содержания в различных диапазонах значений факторов влияния и статистическом анализе вариационных рядов с формированием их вероятностных (квантильных) характеристик. Квантильные характеристики вариационных рядов, полученные на достаточно большом фактическом материале, позволяют с высокой точностью предсказывать вероятности случайной величины (математическое ожидание) и выделять статистический порог (медианный критерий), выше и ниже которого случайная величина будет проявляться с равной вероятностью.

Безусловно, у каждого подхода есть свои достоинства и недостатки, поэтому и применять тот или иной подход следует в зависимости от целей и задач, для которых устанавливается оценочный порог. Однако без учета и статистической оценки основных факторов, обуславливающих накопление загрязняющих веществ в ДО, решить проблему нормирования невозможно.

В связи с тем, что концентрации биогенных углеродов могут достигать высоких величин, особенно в отложениях, богатых органическим веществом, а их количество значительно варьирует в зависимости от состава ДО, понятие «загрязнение нефтепродуктами» предполагает наличие порога, обозначающего пределы естественного содержания НУ в конкретных биоклиматических, гидрологических и геохимических условиях, т. е. фоновых концентраций в ДО. Строго говоря, разные типы водных объектов и даже отдельные водоемы характеризуются собственным естественным порогом, поэтому региональные фоновые концентрации нефтепродуктов должны иметь статистически обоснованную вероятностную оценку, указы-

вающую пределы, кратность превышения которых однозначно и пропорционально повышает вероятность того, что оцениваемые ДО загрязнены нефтью либо ее производными.

## Материалы и методы

Для реализации статистического подхода на 90 разнотипных водных объектах (водохранилища, реки, озера), расположенных на территории Республики Татарстан (РТ), в 2016–2019 гг. было отобрано 336 образцов поверхностных ДО. В образцах определяли гранулометрический состав, содержание органического вещества по ППП и содержание НУ (нефтепродуктов) методом ИК-спектрометрии по ПНД Ф 16.1:2.2.22–98.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью пакета программ Statistica 6.0. Оценивались статистические характеристики вариационных рядов с расчетом их квантилей, средних значений и стандартных отклонений; для оценки различий между двумя независимыми выборками использовался U-критерий Манна – Уитни; корреляционные взаимосвязи оценивали коэффициентом корреляции Пирсона.

## Результаты и обсуждение

Статистический анализ позволил выявить прямые корреляционные связи как между накоплением НУ и величиной ППП, так и между содержанием в ДО НУ и частиц размером  $< 0,01$  мм (пелитовой фракцией). В пределах диапазона наблюдаемых значений корреляционные связи были невысокими, хотя и статистически значимыми ( $p < 0,001$ ): для органического вещества  $r = 0,28$ , для пелита  $r = 0,26$ . Это является следствием нелинейного характера взаимосвязей между анализируемыми показателями, которые хорошо охватываются логарифмическими функциями (рис. 1).

Концентрации НУ выше 500 мг/кг имели место как при высоких, так и при низких значениях ППП, а также при самом разном содержании пелитовой фракции.

В связи с тем, что величина ППП, как косвенная характеристика всей совокупности природных и антропогенных органических веществ в составе ДО, включает в себя и определенное количество НУ, можно рассчитать их удельное содержание в составе органических соединений, формирующих величину ППП, по формуле:

$$НУ_{уд} = НУ_{абс} \cdot 100 \% / ППП,$$

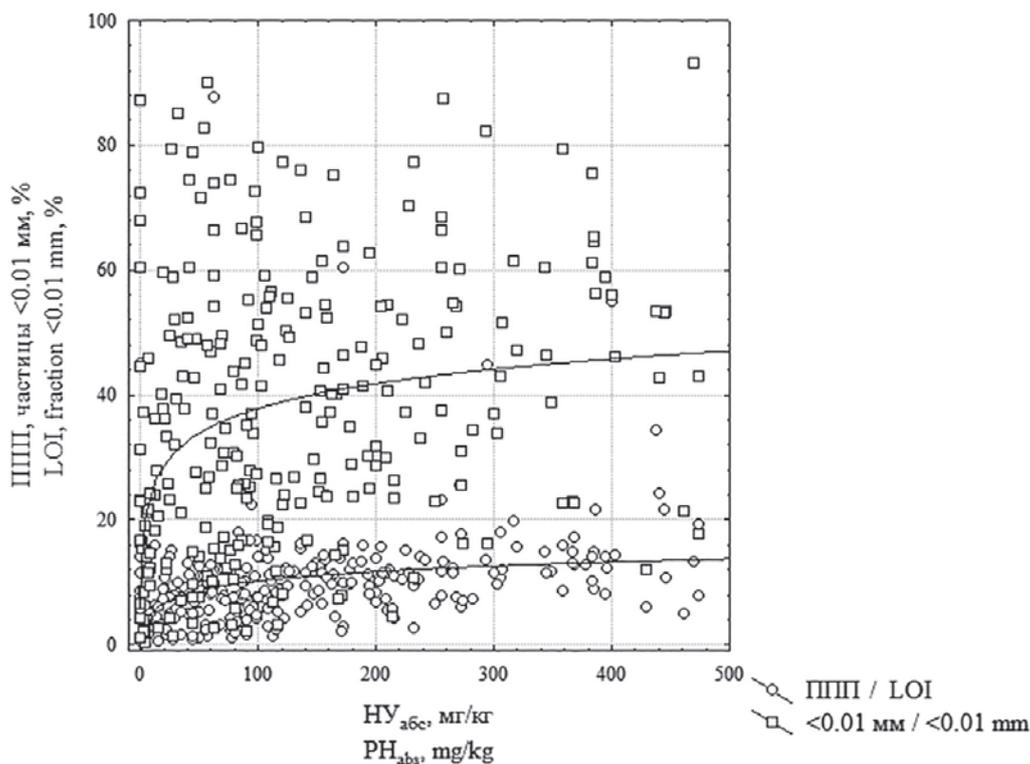


Рис. 1. Интерполяция взаимосвязи концентраций НУ с величиной ППП и содержанием частиц < 0,01 мм

Fig. 1. Interpolation of the correlation of petroleum hydrocarbons ( $PH_{abs}$ ) concentrations with loss of ignition (LOI) value and pelite fraction (< 0,01 mm) content

где  $НУ_{уд}$  – удельное содержание НУ, %;  $НУ_{абс}$  – абсолютное содержание НУ, мг/кг; ППП – величина потерь при прокаливании, в пересчете на мг/кг ДО.

Значение  $НУ_{уд}$  указывает на долю НУ в составе органического вещества отложений. Так, например, при величине ППП, равной 10 %, его содержание в ДО будет равно 100000 мг/кг. При концентрации НУ на уровне 1000 мг/кг их удельное содержание в ДО составит 1 %, т. е. из 10 % органического вещества 1 % следует отнести на вклад НУ.

В результате расчетов по выборке данных, характеризующих уровни содержания нефтепродуктов в ДО водных объектов РТ, были получены значения  $НУ_{уд}$ , медианный уровень которых составил 0,17 % (табл. 1). Выявлена неоднородность частотных характеристик, проявляющаяся в значительном стандартном отклонении параметров и асимметрии выборки в сторону больших значений. По мере роста содержания органического вещества  $НУ_{уд}$  плавно снижается, причем эта зависимость также является нелинейной (рис. 2). По всей видимости, с ростом ППП возрастает ошибка, характерная для данного косвенного метода определения содержания органического вещества, обусловленная

уменьшением веса образца после прокаливании за счет гидратов, карбонатов и других летучих соединений неорганической природы.

Учитывая, что содержание НУ в ДО тесно взаимосвязано с содержанием в них органического вещества, которое, в свою очередь, обусловлено дисперсным состоянием осадка, задача установления регионального фона НУ выполнялась с учетом изменчивости обоих показателей. Различия условий седиментации и накопления осадков в водотоках и водоемах влекут необходимость дифференцированной оценки пороговых значений НУ в ДО рек и водохранилищ, с одной стороны, и озер, с другой. Таким образом, в предлагаемой ниже модели структура изменчивости содержания НУ представлена соотношением трех факторов: 1) гидрологического режима, 2) содержания органического вещества и 3) гранулометрического состава осадков, выражаемого долей мелкодисперсных фракций (< 0,01 мм).

Наблюдаемая изменчивость содержания НУ в ДО была структурирована согласно данной модели и представлена вариационным распределением концентраций углеводородов в различных типах водных объектов и диапазонах детерминирующих факторов. В результате

Таблица 1. Вариационно-статистические параметры состава и свойств донных отложений

Table 1. Statistical parameters of the composition and properties of sediments

Показатель Index	Среднее Mean	Медиана Median	Нижний квартиль Low quartile	Верхний квартиль Upper quartile	Стандартное отклонение Standard deviation
ППП / LOI, %	10,7	9,8	6,0	13,2	8,7
<0,01 мм / <0,01 mm, %	38,1	37,9	22,5	53,2	20,8
НУ <sub>абс</sub> , мг/кг / PH <sub>абс</sub> , mg/kg	536,6	148,6	60,4	368,6	1214,7
НУ <sub>уд</sub> / PH <sub>р</sub> , %	0,50	0,17	0,07	0,38	1,00

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: ППП – потери при прокаливании, НУ<sub>абс</sub> – абсолютное содержание нефтяных углеводородов, НУ<sub>уд</sub> – удельное содержание нефтяных углеводородов.

Note. Here and in Tables 2, 3: LOI – loss of ignition, PH<sub>абс</sub> – absolute concentration of petroleum hydrocarbons, PH<sub>р</sub> – relative concentration of petroleum hydrocarbons.

структурирования получены выборки, отражающие колебания рассматриваемых показателей отложений рек и образованных на них водохранилищ и озерных отложений (табл. 2). ДО озер характеризовались более высокими значениями анализируемых показателей, что подтверждает структурную обособленность этих объектов и особую вариационную изменчивость их параметров.

В ранжированных вариационных рядах четко выделялась особенность структурной композиции двух выборок данных, разделенных по типу водного объекта: доля наблюдений в реках и водохранилищах возрастала быстрее при меньших градациях оцениваемого показате-

ля, в связи с чем и предельные значения этого показателя (охватывающие 100 % наблюдений) в указанных объектах существенно ниже. Кривые распределения двух выборок описывались одной и той же функцией, хотя и были значительно смещены относительно друг друга, поэтому для сравнительной характеристики вариационного распределения достаточно оценивать их выборочные квантили. В подобных случаях чаще всего определяют медиану (0,5 квантиль) и квартильный размах: нижний (0,25 квантиль) и верхний (0,75 квантиль) квартили. Медиану используют для задания порога, разделяющего выборку на диапазоны с относительно низкими и высокими значениями признака.

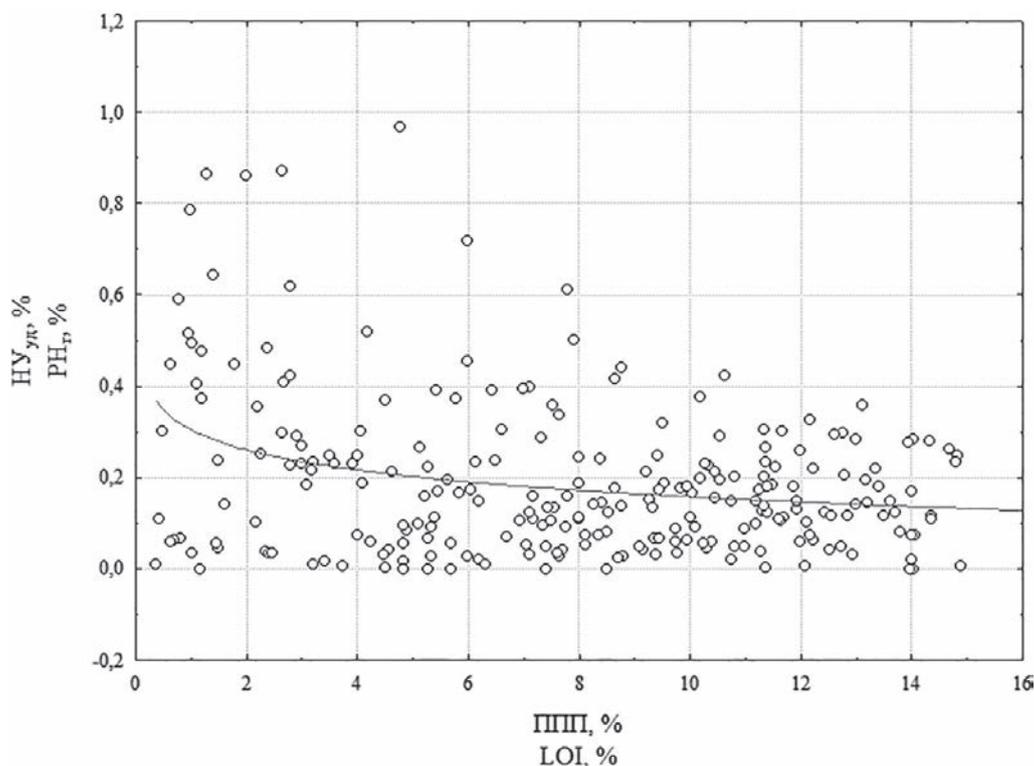


Рис. 2. Зависимость НУ<sub>уд</sub> от величины ППП

Fig. 2. The dependence of PH<sub>р</sub> on the value of LOI

Таблица 2. Вариационно-статистические параметры донных отложений разнотипных водных объектов

Table 2. Statistical parameters of sediments of diverse water bodies

Показатель Index	Среднее Mean	Медиана Median	Нижний квартиль Low quartile	Верхний квартиль Upper quartile	Стандартное отклонение Standard deviation
Реки и водохранилища / Rivers and reservoirs (n=180)					
ППП / LOI, %	8,4	7,6	4,6	11,3	6,7
<0,01 мм / <0,01 mm, %	31,0	30,8	16,5	41,9	16,8
НУ <sub>абс</sub> , мг/кг / PH <sub>абс</sub> , mg/kg	250,6	107,0	44,8	234,0	507,4
НУ <sub>уд</sub> / PH <sub>r</sub> , %	0,29	0,16	0,06	0,30	0,45
Озера / Lakes (n=156)					
ППП / LOI, %	13,2	11,6	8,8	14,7	10,0
<0,01 мм / <0,01 mm, %	45,7	48,4	27,7	60,3	22,2
НУ <sub>абс</sub> , мг/кг / PH <sub>абс</sub> , mg/kg	861,1	207,0	90,1	567,9	1633,3
НУ <sub>уд</sub> / PH <sub>r</sub> , %	0,73	0,19	0,09	0,51	1,35

В отложениях рек и водохранилищ можно выделить наблюдения, величины содержания ППП и фракции < 0,01 мм в которых ниже и выше 7,6 и 30,8 % соответственно (табл. 2). В осадках озер эти пороги равны 11,6 и 48,4 %. В результате округления пороговые значения ППП для рек и водохранилищ будут равны 8 %, для озер – 12 %, пороговые значения пелитовой фракции составят 30 и 50 % соответственно. С учетом указанных пороговых значений было сформировано 8 выборок ДО, охватывающих все наблюдения во всех возможных вариантах изменчивости значений ППП и пелитовой фракции, статистическая характеристика которых представлена в табл. 3.

При анализе статистического распределения концентраций НУ, характерных для тех или иных соотношений детерминирующих факторов, отмечены четкие тренды их возрастания по мере увеличения значений ППП и/или доли пелитовой фракции (табл. 3). Влияние частиц < 0,01 мм как корректирующего признака значимо проявляется при относительно низких уровнях органического вещества, при этом медианная концентрация НУ в тонкодисперсных отложениях кратно растет в сравнении с песчаными: в отложениях рек и водохранилищ – в 1,4 раза, в отложениях озер – в 2,5 раза. Напротив, при высоких концентрациях органического вещества вариации пелитовой фракции изменяют концентрацию НУ незначительно: медианное их содержание в ДО озер колеблется в пределах 313–319 мг/кг.

Такая же тенденция наблюдается и в осадках рек и водохранилищ: увеличение доли частиц < 0,01 мм на фоне высоких значений ППП незначительно повышает медианные концентрации НУ: с 162 до 181 мг/кг. Таким образом, в условиях относительно низкого уровня органического вещества дисперсный характер отло-

жений является особо значимым детерминирующим фактором, необходимым при оценке показателей накопления НУ.

При определении фоновых концентраций НУ, так же как и при установлении фоновых концентраций в ДО тяжелых металлов [Региональные..., 2019], в качестве диапазона характерных значений использовали квартильный размах (25 %, 75 %) анализируемых выборок, а их медиану рассматривали как математическое ожидание наиболее вероятного значения концентраций. Таким образом, базовым значением фоновых концентраций нефтепродуктов в ДО водных объектов РТ является медиана ряда ( $C_{\phi}$ ), а его верхний квартиль ( $C_{lim}$ ) служит в качестве оценочного критерия (табл. 4), по которому оценивается, находится ли полученное значение в пределах регионального фона.

Большая часть обследованных озер имеет статус особо охраняемых природных территорий, не подвергающихся техногенному воздействию. Из этого следует, что установленный по результатам расчетов более высокий фон нефтепродуктов в озерных отложениях обусловлен характером накопления в них природных углеводородов.

Оценивая неоднородность геохимических систем озер, рек и водохранилищ по «абсолютному разбросу» фонового содержания нефтепродуктов [Касимов, Власов, 2015], рассчитываемому как отношение максимального фона в глинистых отложениях с высоким содержанием органического вещества к минимальному фону в песчаных осадках с низким содержанием органики, следует отметить, что данный показатель изменялся от 3,6 (озера) до 4,0 (реки и водохранилища). Высокие показатели абсолютного разброса подтверждают правильность установления регионального фона НУ с учетом факторов, определяющих принадлежность от-

Таблица 3. Вариационно-статистические параметры выборок донных отложений

Table 3. Statistical parameters of sediments

Показатель Index	Число наблюдений Number of observation	Среднее Mean	Медиана Median	Нижний квартиль Low quartile	Верхний квартиль Upper quartile	Стандартное отклонение Standard deviation
Реки и водохранилища / Rivers and reservoirs						
ППП / LOI ≤ 8 %, ПФ / PF ≤ 30 %						
ППП / LOI, %	68	3,8	3,6	2,2	5,4	2,0
<0,01 мм / <0,01 mm, %	68	15,9	15,3	11,1	22,1	7,9
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	68	90,6	47,0	29,5	98,6	114,7
ППП / LOI ≤ 8 %, ПФ / PF > 30 %						
ППП / LOI, %	30	6,1	6,3	5,3	7,1	1,3
<0,01 мм / <0,01 mm, %	30	41,5	41,9	34,5	48,3	7,0
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	30	121,0	65,9	13,1	116,3	203,0
ППП / LOI > 8 %, ПФ / PF ≤ 30 %						
ППП / LOI, %	22	10,1	8,8	8,0	12,0	2,6
<0,01 мм / <0,01 mm, %	22	23,2	24,2	22,2	27,6	6,4
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	22	384,9	162,0	69,5	303,0	735,1
ППП / LOI > 8 %, ПФ / PF > 30 %						
ППП / LOI, %	60	13,1	11,3	9,4	14,0	8,5
<0,01 мм / <0,01 mm, %	60	46,2	41,9	37,1	54,2	11,5
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	60	482,6	181,0	116,2	474,0	748,3
Озера / Lakes						
ППП / LOI ≤ 12 %, ПФ / PF ≤ 50 %						
ППП, % / LOI, %	38	6,1	5,6	2,7	10,0	3,8
<0,01 мм, % / <0,01 mm, %	38	20,9	21,2	7,6	28,8	14,8
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	38	452,0	90,2	45,4	193,9	1368,3
ППП / LOI ≤ 12 %, ПФ / PF > 50 %						
ППП, % / LOI, %	42	9,4	9,6	8,1	11,0	1,6
<0,01 мм, % / <0,01 mm, %	42	63,5	61,8	55,3	68,3	10,1
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	42	940,3	221,5	91,9	345,0	910,4
ППП / LOI > 12 %, ПФ / PF ≤ 50 %						
ППП, % / LOI, %	40	17,9	14,7	13,3	19,3	8,5
<0,01 мм, % / <0,01 mm, %	40	34,8	40,2	26,6	43,5	12,3
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	40	979,0	313,0	120,0	459,0	958,7
ППП / LOI > 12 %, ПФ / PF > 50 %						
ППП, % / LOI, %	36	20,0	14,9	13,7	18,6	14,0
<0,01 мм, % / <0,01 mm, %	36	63,3	59,4	52,2	74,1	12,7
НУ <sub>abc</sub> , мг/кг / PH <sub>abs</sub> , mg/kg	36	811,0	319,1	122,5	512,5	1665,0

Примечание. Здесь и в табл. 4: ПФ – пелитовая фракция.

Note. Here and in Table 4: PF – pelite fraction.

ложений к тому или иному литогеохимическому типу.

Верхний предел фоновых значений  $C_{lim}$ , по отношению к которому устанавливается факт загрязнения ДО нефтепродуктами [Региональные..., 2020], превышает величину  $C_{\phi}$  для соответствующих типов отложений рек, водохранилищ и озер в среднем в 1,9 раза. Считается [Саеи и др., 1990], что концентрация загрязняющего вещества, в 1,5 раза превышающая фон, является минимально-аномальным со-

держанием, превосходящим природную вариацию и возможные ошибки опробования и аналитических исследований. Таким образом, значения верхнего предела фонового содержания нефтепродуктов в ДО водных объектов РТ обеспечивают надежный коэффициент запаса, который позволяет объективно оценить наличие загрязнения даже с учетом широкой вариативности региональных природных концентраций углеводородов в составе органического вещества ДО.

Таблица 4. Фоновое содержание нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан, мг/кг [Региональные..., 2020]

Table 4. Background content of petroleum hydrocarbons ( $C_b$ ) in sediments of water bodies of the Republic of Tatarstan, mg/kg [Regional'nye..., 2020]

Характеристика ДО Sediments description	Фон $C_b$ Background $C_b$	Верхний предел Upper limit $C_{lim}$
Реки и водохранилища / Rivers and reservoirs		
Содержание ОВ < 8 %, содержание ПФ < 30 % Organic matter content < 8 %, PF content < 30 %	45	100
Содержание ОВ < 8 %, содержание ПФ > 30 % Organic matter content < 8 %, PF content > 30 %	65	115
Содержание ОВ > 8 %, содержание ПФ < 30 % Organic matter content > 8 %, PF content < 30 %	160	305
Содержание ОВ > 8 %, содержание ПФ > 30 % Organic matter content > 8 %, PF content > 30 %	180	475
Озера / Lakes		
Содержание ОВ < 12 %, содержание ПФ < 50 % Organic matter content < 12 %, PF content < 50 %	90	195
Содержание ОВ < 12 %, содержание ПФ > 50 % Organic matter content < 12 %, PF content > 50 %	220	345
Содержание ОВ > 12 %, содержание ПФ < 50 % Organic matter content > 12 %, PF content < 50 %	315	460
Содержание ОВ > 12 %, содержание ПФ > 50 % Organic matter content > 12 %, PF content > 50 %	320	510

Примечание. ОВ – органическое вещество

## Заключение

Структурно-вариационный метод оценки содержания НУ в ДО позволяет учесть особенности их распределения и накопления в зависимости от гранулометрического состава отложений, содержания в них органического вещества и типа водного объекта. В качестве структурных интервалов используются однозначно интерпретируемые параметры вариационной статистики, что позволяет использовать данный подход в качестве универсального методического обеспечения при установлении региональных фоновых концентраций нефтепродуктов в ДО.

По результатам исследования 90 водных объектов РТ с использованием методов вариационной статистики было установлено фоновое содержание нефтепродуктов в ДО, дифференцирующее природные показатели их накопления в осадках рек, образованных на них водохранилища и озера региона. Фоновые значения и верхние пределы природного содержания нефтепродуктов, превышение которых свидетельствует о наличии загрязнения, установлены с учетом доли органического вещества (биогенной составляющей) и пелитовой фракции в составе отложений.

Минимальное фоновое содержание нефтепродуктов – от 45 до 180 мг/кг (верхний предел 100–475 мг/кг) – характерно для речных и во-

дохранилищных отложений. В озерных осадках, где, в связи с гидрологическими и продукционными особенностями озер, возрастает доля органического материала и тонкодисперсных частиц, среднее фоновое содержание нефтепродуктов оценивается кратно большей величиной – 90–320 мг/кг, а верхние пределы фонового содержания – в 195–510 мг/кг.

Разработка и утверждение региональных нормативов содержания нефтепродуктов в ДО поверхностных водных объектов РТ решает целый комплекс актуальных природоохранных задач, связанных с ведением государственного мониторинга и с оценкой текущей экологической ситуации в водоемах республики, выявлением наиболее загрязненных акваторий и их отдельных участков, особенно в районах нефтедобычи. Наличие информации об уровнях и масштабах загрязнения водных объектов является необходимым звеном для включения в федеральные и региональные программы, направленные на их экологическую реабилитацию и благоустройство.

## Литература

Белкина Н. А. Роль донных отложений в процессах трансформации органического вещества и биогенных элементов в озерных экосистемах // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 35–41.

Белкина Н. А., Рыжаков А. В., Тимакова Т. М. Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 4. С. 472–481.

Валиев В. С., Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р. Нефтяные углеводороды в донных отложениях: состав, идентификация, механизмы трансформации (обзор) // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 1. С. 41–51.

Исаченко-Боме Е. А., Михайлова Л. В. Оценка состояния макрозообентоса реки Ватинский Еган, хронически загрязняемой нефтью // Современное состояние водных биоресурсов: Матер. междунар. конф. Новосибирск, 2008. С. 292–295.

Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. 2015. № 2. С. 7–17.

Михайлова Л. В., Исаченко-Боме Е. А. Разработка и апробация норматива содержания нефти в донных отложениях поверхностных водных объектов // Водные ресурсы. 2012. Т. 39, № 5. С. 530–542.

Московченко Д. В. Исследование состава донных отложений рек бассейна нижней Оби (в пределах Ханты-Мансийского автономного округа) // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2001. № 2. С. 138–142.

Паничева Л. П., Моисеенко Т. И., Кремлева Т. А., Волкова С. С. Биохимическая трансформация нефтяных углеводородов в водах Западной Сибири // Вестник Тюменского гос. ун-та. Сер. Экология. 2012. № 12. С. 38–48.

ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в мине-

ральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии.

Региональные нормативы «Фоновое содержание нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан» (утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 3.02.2020 г. № 110-п).

Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан» (утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 27.03.2019 г. № 316-п).

Саев Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

Степанова Н. Ю., Латыпова Т. Р., Латыпова В. З. Экологически обусловленные пороговые уровни содержания нефтепродуктов в донных отложениях на примере Куйбышевского водохранилища // Нефтяное хозяйство. 2015. № 3. С. 106–109.

Castaceda I. S., Schouten S. A review of molecular organic proxies for examining modern and ancient lacustrine environments // Quat. Sci. Rev. 2011. Vol. 30. P. 2851–2891.

Garcia M. R., Cattani A. P., da Cunha Lana P., Figueira R. C. L., Martins C. C. Petroleum biomarkers as tracers of low-level chronic oil contamination of coastal environments: A systematic approach in a subtropical mangrove // Environ. Pollut. 2019. Vol. 249. P. 1060–1070.

Pu Y., Zang H. C., Wang Y. L., Lei G. L., Nace T., Zhang S. P. Climatic and environmental implications from n-alkanes in glacially eroded lake sediments in Tibetan Plateau: An example from Ximen Co // Chinese Sci. Bull. 2011. Vol. 56, no. 14. P. 1503–1510.

Поступила в редакцию 25.05.2020

## References

Belkina N. A. Rol' donnykh otlozhenii v protsessakh transformatsii organicheskogo veshchestva i biogenykh elementov v ozernykh ekosistemakh [The role of bottom sediments in the processes of transformation of organic matter and nutrients in lake ecosystems]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 35–41.

Belkina N. A., Ryzhakov A. V., Timakova T. M. Raspreделение i transformatsiya neftyanykh uglevodorodov v donnykh otlozheniyakh Onezhskogo ozera [Distribution and transformation of petroleum hydrocarbons in bottom sediments of Lake Onega]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2008. Vol. 35, no. 4. P. 472–481.

Isachenko-Bome E. A., Mikhailova L. V. Otsenka sostoyaniya makrozoobentosa reki Vatinskii Egan, khronicheski zagryaznyayemoi nef't'yu [Assessment of the macrozoobenthos status of the Vatin'sky Egan River, chronically polluted by oil]. *Sovr. sostoyanie vodnykh bioresursov: Mat. mezhdunar. konf.* [The current state of aquatic biological resources: Proceed. int. conf.]. Novosibirsk, 2008. P. 292–295.

Kasimov N. S., Vlasov D. V. Klarki khimicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeokhimi [Clarks of chemical elements as reference standards in environ-

mental geochemistry]. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. Geografiya* [MSU Bull. Geography Ser.]. 2015. No. 2. P. 7–17.

Mikhailova L. V., Isachenko-Bome E. A. Razrabotka i aprobatsiya normativa soderzhaniya nef'ti v donnykh otlozheniyakh poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov [Development and testing of the standard for oil content in bottom sediments of surface water bodies]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2012. Vol. 39, no. 5. P. 530–542.

Moskovchenko D. V. Issledovanie sostava donnykh otlozhenii rek basseina nizhnei Obi (v predelakh Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga) [Study of the composition of bottom sediments of the rivers of the lower Ob basin (within the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug)]. *Vestnik ekol., lesovedeniya i landshaftovedeniya* [Bull. of ecol., forestry, and landscape sci.]. 2001. No. 2. P. 138–142.

Panicheva L. P., Moiseenko T. I., Kremleva T. A., Volkova S. S. Biokhimicheskaya transformatsiya nef'tyanykh uglevodorodov v vodakh Zapadnoi Sibiri [Biochemical transformation of petroleum hydrocarbons in the waters of Western Siberia]. *Vestnik Tyumenskogo gos. univ. Ser. ekol.* [Bull. Tyumen St. Univ. Ecol. Ser.]. 2012. No. 12. P. 38–48.

ПНД Ф 16.1: 2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных,

organogennykh, organo-mineral'nykh pochvakh i donnykh otlozheniyakh metodom IK-spektrometrii [Method for measuring the mass fraction of oil products in mineral, organogenic, organo-mineral soils and bottom sediments by IR spectrometry].

*Regional'nye normativy "Fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov Respubliki Tatarstan" (utv. Prikazom Ministerstva ekologii i prirodnykh resursov RT ot 27.03.2019 g. № 316-p)* [Regional standards *Background content of heavy metals in bottom sediments of surface water bodies of the Republic of Tatarstan* (approved by the Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan No. 316-p dated 27.03.2019)].

*Regional'nye normativy "Fonovoe sodержanie nefteproduktov v donnykh otlozheniyakh poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov Respubliki Tatarstan" (utv. Prikazom Ministerstva ekologii i prirodnykh resursov RT ot 3.02.2020 g. № 110-p)* [Regional standards *Background content of oil products in bottom sediments of surface water bodies of the Republic of Tatarstan* (approved by the Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan No. 110-p dated 3.02.2020)].

Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. Geokhimiya okruzhayushchei sredy [Environmental geochemistry]. Moscow: Nedra, 1990. 335 p.

Stepanova N. Yu., Latypova T. R., Latypova V. Z. Ekologicheski obuslovlennyye porogovyе urovni sodер-

zhaniya nefteproduktov v donnykh otlozheniyakh na primere Kuibyshevskogo vodokhranilishcha [Ecologically determined threshold levels of oil products in bottom sediments on the example of the Kuibyshev reservoir]. *Neftyanoё khozyaistvo* [Oil Industry]. 2015. No. 3. P. 106–109.

Valiev V. S., Ivanov D. V., Shagidullin R. R. Neftyanye uglevodorody v donnykh otlozheniyakh: sostav, identifikatsiya, mekhanizmy transformatsii (obzor) [Petroleum hydrocarbons in bottom sediments: composition, identification, transformation mechanisms (review)]. *Ross. zhurn. priklad. ekol.* [Russ. J. Appl. Ecol.]. 2020. No. 1. P. 41–51.

Castaceda I. S., Schouten S. A review of molecular organic proxies for examining modern and ancient lacustrine environments. *Quat. Sci. Rev.* 2011. Vol. 30. P. 2851–2891.

Garcia M. R., Cattani A. P., da Cunha Lana P., Figueira R. C. L., Martins C. C. Petroleum biomarkers as tracers of low-level chronic oil contamination of coastal environments: A systematic approach in a subtropical mangrove. *Environ. Pollut.* 2019. Vol. 249. P. 1060–1070.

Pu Y., Zang H. C., Wang Y. L., Lei G. L., Nace T., Zhang S. P. Climatic and environmental implications from n-alkanes in glacially eroded lake sediments in Tibetan Plateau: An example from Ximen Co. *Chinese Sci. Bull.* 2011. Vol. 56, no. 14. P. 1503–1510.

Received May 25, 2020

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Иванов Дмитрий Владимирович

заместитель директора по научной работе, к. б. н. Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия, 420087  
эл. почта: water-rf@mail.ru  
тел.: (843) 2759573

### Валиев Всеволод Сергеевич

старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия, 420087  
эл. почта: podrost@mail.ru

### Шагидуллин Рифгат Роальдович

директор, чл.-корр. АН РТ, д. х. н. Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия, 420087  
эл. почта: shagidullin\_@mail.ru

## CONTRIBUTORS:

### Ivanov, Dmitry

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences 28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: water-rf@mail.ru

### Valiev, Vsevolod

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences 28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: podrost@mail.ru

### Shagidullin, Rifgat

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences 28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: shagidullin\_@mail.ru