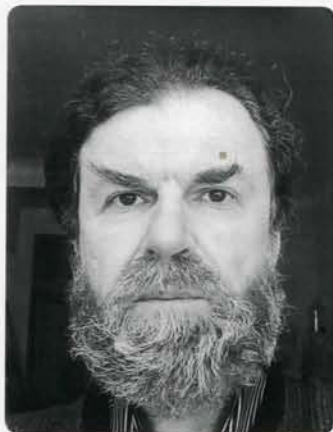




УДК 550.4:551.3(476)



Олег Валентинович ЛУКАШЁВ,
заведующий кафедрой региональной геологии
географического факультета БГУ,
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент

Наталья Викторовна ЖУКОВСКАЯ,
доцент кафедры почвоведения
и земельных информационных систем
географического факультета БГУ,
кандидат географических наук



Наталья Григорьевна ЛУКАШЁВА,
лаборант II категории,
НИЛ экологии ландшафтов
географического факультета БГУ

Ирина Ивановна ИЛЮКОВА,
заведующая лабораторией
профилактической и экологической
токсикологии
РУП «Научно-практический центр гигиены»,
кандидат медицинских наук



Владимир Васильевич САВЧЕНКО,
заместитель директора по научной работе
ООО «ПГП» (проектирование горнорудных
предприятий),
кандидат геолого-минералогических наук

Светлана Валентиновна САВЧЕНКО,
ведущий научный сотрудник
Института природопользования Национальной
академии наук Беларуси,
кандидат геолого-минералогических наук

Эколого-геохимическое изучение земель (почв) урбанизированных территорий Беларуси в целях дифференцированного нормирования содержания в них нефтепродуктов

В статье описан подход к эколого-геохимическому изучению земель городов с учетом функционального зонирования и дана оценка современного состояния городских почв по содержанию нефтепродуктов. Для Беларуси в целом характерно минимальное накопление нефтепродуктов в рекреационной зоне, максимальное – в транспортной. В областных и районных центрах наблюдается геохимическое «взаимовлияние» различных функциональных зон, проявляющееся в миграции нефтепродуктов из транспортной зоны во все прочие. Фракционное разложение загрязненных нефтепродуктами почв показало, что в транспортной и промышленной зонах отмечается повышенное содержание ароматических углеводородов, в селитебной, транспортной и промышленной – метановых, в транспортной и промышленной – нафтеновых



Введение

В 2006–2011 гг. по инициативе Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (В.В. Савченко) и РУП «Научно-практический центр гигиены» (И.И. Ильюкова) в Беларуси впервые были проведены исследования с целью разработки санитарно-гигиенических нормативов, базирующихся на принципе дифференциации нормирования содержания химических веществ в землях в зависимости от их функционального назначения или категории. Выполненные работы включали следующие основные этапы: 2006 г. – разработка общей методики исследования (РУП «Научно-практический центр гигиены», БГУ, Институт природопользования НАН Беларуси), в дальнейшем принявшей форму Инструкции по определению дифференцированных гигиенических нормативов загрязнения почв [5]; 2007–2009 гг. – опробование почв урбанизированных территорий Беларуси для установления их современного эколого-геохимического состояния по широкому спектру химических веществ (БГУ); 2007–2011 г. – разработка нормативов загрязнения земель (почв) металлами и нефтепродуктами (РУП «Научно-практический центр гигиены») [2, 7–9].

На этапе эколого-геохимического изучения почв урбанизированных территорий, выполненного БГУ (О.В. Лукашёв и др.), осуществлялось

детальное исследование почв наиболее крупного города (столица) и контрольно-рекогносцировочное – почв прочих 5 областных центров, а также

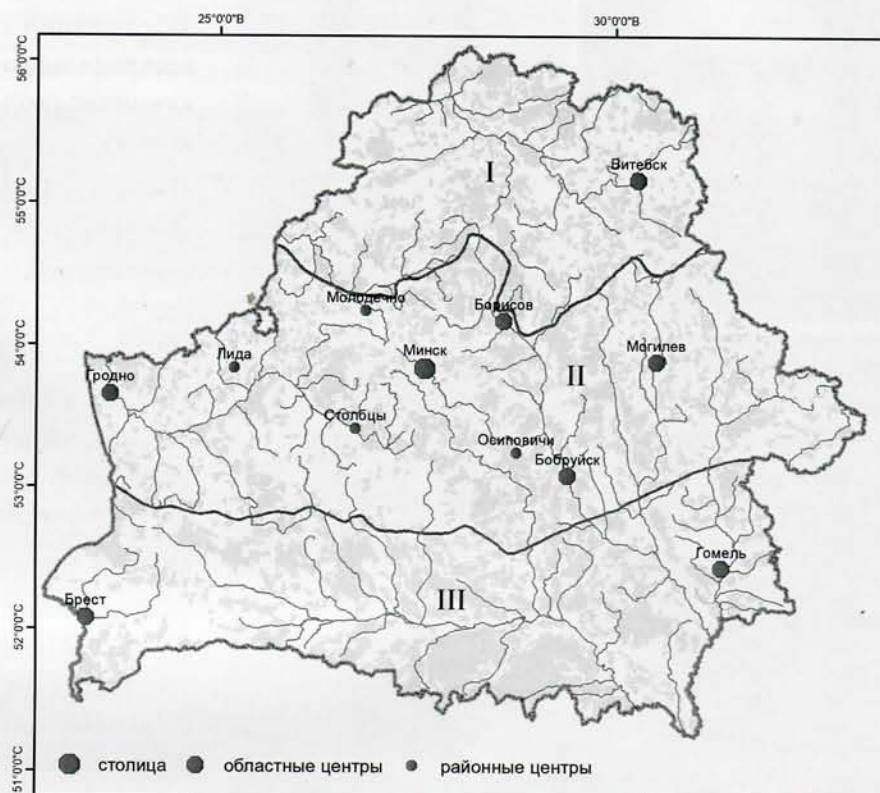


Рисунок 1 – Опробование почв урбанизированных территорий Республики Беларусь в 2007–2009 гг.
Геохимические провинции: I – северная, II – центральная, III – южная

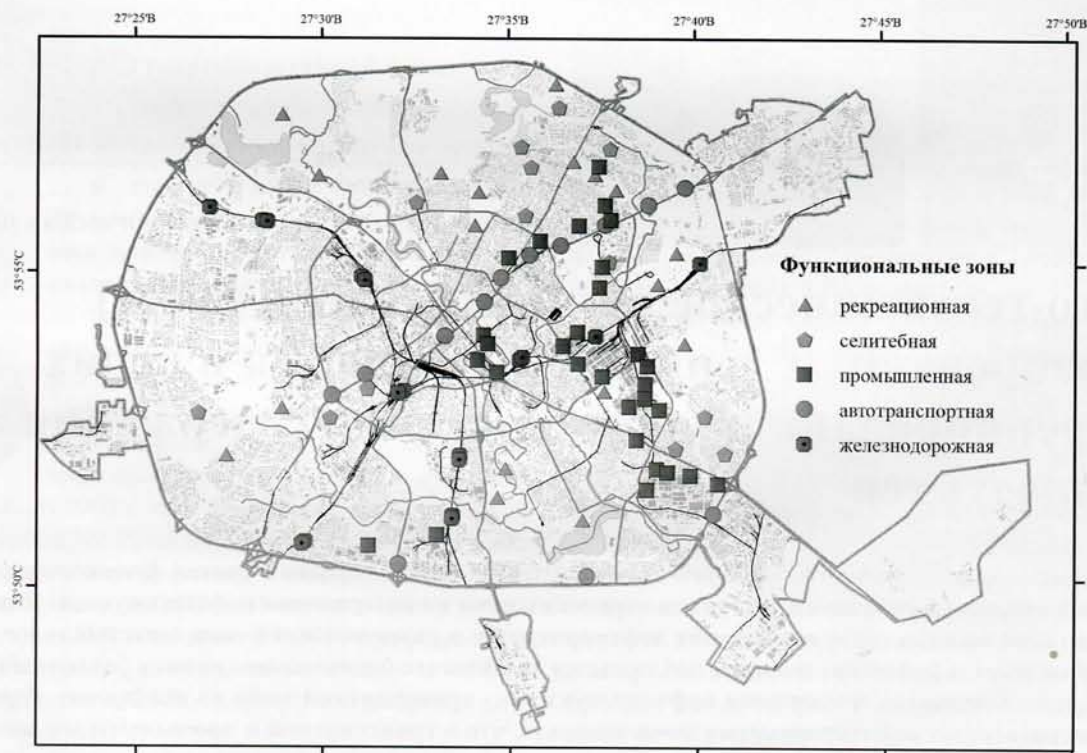


Рисунок 2 – Опробование почв (0–20 см) г. Минска (показаны пробные площадки, в почвах которых было выполнено определение содержания НП)



6 районных центров республики и пахотных земель одного компактного района (в нашем случае – бывших и существующих коллективных хозяйств Березинского биосферного заповедника (далее – ББЗ)). При выборе конкретных районных центров должно было быть учтено возможное влияние на химический состав почв как природных (литогеохимическая провинция), так и антропогенных (уровень развития промышленности и транспорта) факторов.

Результатом работы явилась разработка дифференцированных нормативов для подвижных фракций (форм) ряда металлов (Сг, Ni, Cu, Zn, Cd) [2, 4, 8], валового содержания As, Hg, Pb [7, 8], а также нефтепродуктов (далее – НП) [9].

В настоящей статье приведены результаты эколого-геохимического исследования НП в землях (почвах) урбанизированных территорий Беларуси, выполненного при проведении НИР 4.10 «Разработать показатели вредности (токсикологической, воздушно-миграционной, водно-миграционной, фитотоксический, общесанитарный) и исходные данные для обоснования ПДК нефтепродуктов в почвах» (ГНТП «Экологическая безопасность» 2009–2010 гг.).

Основная часть

Полевые исследования

Пространственное распределение по территории Беларуси населенных пунктов, в которых осуществлялось опробование почв, показано на рисунке 1.

Подобное размещение позволило включить в изучаемую выборку пробы почв городов, расположенных в различных литогеохимических провинциях Беларуси: *Северной* – г. Витебск; *Центральной* – гг. Минск, Гродно, Могилев, Лида, Молодечно, Борисов, Столбцы, Осиповичи, Бобруйск; и *Южной* – гг. Брест, Гомель, а также дало возможность, при необходимости, рассматривать интересующие нас показатели в системе своеобразных «трансрегиональных» профилей: *запад–восток* – гг. Гродно, Лида, Молодечно, Минск, Борисов, Могилев; *северо-восток–юго-запад* – гг. Витебск, Борисов, Минск, Столбцы, Брест; *северо-запад–юго-восток* – гг. Молодечно, Минск, Осиповичи, Бобруйск, Гомель. Кроме того, районные центры по степени влияния на них антропогенных факторов могут быть объединены в группы, например: гг. Бобруйск, Борисов, Молодечно (средняя степень); гг. Столбцы, Осиповичи (слабая степень); и т. д.

При опробовании почвенного покрова населенных пунктов, различных по площади и наличию антропогенных источников загрязнения земель (почв), в частности, г. Минска и прочих 5 областных и 6 районных городов, использовались различные «сценарии».

почвы г. Минска – столицы и крупнейшего города Беларуси – опробовались детально, с предварительным выбором на карте масштаба 1 : 27 000 расположения пробных площадок (первоначально – не менее 30 площадок на функциональную зону). Непосредственно отбор проб почв (лето–осень) производился во время пешеходных маршрутов, на которых уточнялся выбор репрезентативных участков для тех

Таблица 1 – Статистические характеристики содержания нефтепродуктов в землях (почвах) (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси, мг/кг

Функциональная зона, n	\bar{X}_g	min–max	σ/ε
Урбанизированные территории в целом			
рекреационная, 36	18,3 _g	4,12–231	3,10
селитебная, 48	59,0 _g	1,28–2046	4,10
транспортная, 79	172 _g	7,44–1770	3,10
промышленная, 62	116 _g	12,9–1392	2,93
г. Минск			
рекреационная, 18	13,7 _g	5,02–121	2,73
селитебная, 13	36,0 _g	8,97–293	2,97
транспортная, 30	232 _g	29,4–1109	2,68
промышленная, 30	106 _g	14,7–1357	2,91
Областные центры			
рекреационная, 8	32,7 _g	4,36–231	3,79
селитебная, 19	62,9 _g	3,69–642	3,57
транспортная, 21	173 _g	17,9–983	2,94
промышленная, 11	153 _g	12,9–306	88,1
Районные центры			
рекреационная, 8	19,6 _g	4,12–96,7	2,98
селитебная, 16	81,5 _g	1,28–2046	5,67
транспортная, 27	122 _g	7,44–1770	3,50
промышленная, 21	132 _g	14,5–1392	3,31
Примечание: \bar{X}_g – средняя геометрическая; min–max – пределы варьирования; σ/ε – антилогарифм стандартного отклонения логарифмов концентраций			

или иных конкретных районов города. Последовательно опробовались почвы рекреационной, транспортной (автомобильные дороги), селитебной, транспортной (железные дороги), промышленной зон г. Минска. Подобный сценарий позволял с первого же дня выполнения полевых работ в соответствующей зоне составить представление о ее «репрезентативном участке» и далее сохранять однотипность выбора размещения очередной пробной площадки (рисунок 2).

Под пробной площадкой для рекреационной, селитебной и промышленной зон понимался участок площадью не менее 100 м² (10 м × 10 м), на котором из почвенного горизонта 0–20 см отбиралась смешанная проба, состоявшая не менее чем из 5-ти точечных проб. Для повышения надежности выполняемых работ в большинстве случаев опробовались более крупные площадки (400 м²), на которых отбиралось по 15–20 точечных проб.

Под пробной площадкой для транспортной зоны в реальных условиях г. Минска понимались обочина 0–3 м от дорожного полотна или газон разделительной полосы дороги, протяженностью 30–50 м, на которых также отбиралось 15–20 точечных проб.

Вес одной смешанной пробы для всех функциональных зон на долабораторной стадии составлял не менее 5–6 кг. ►

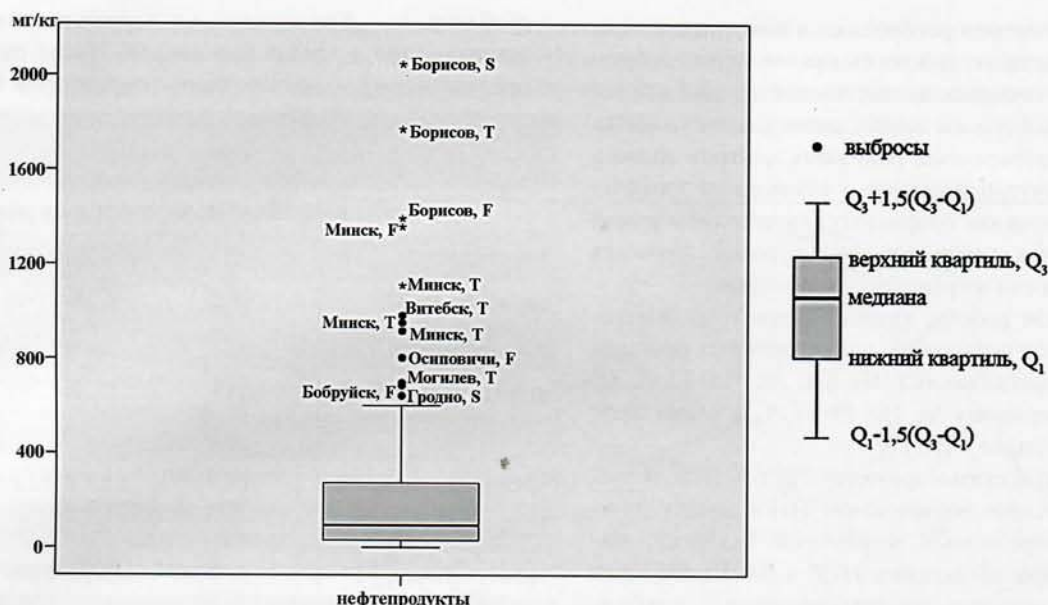


Рисунок 3 – Параметры варьирования содержания НП в почвах (0–20 см) урбанизированных территорий Беларуси
Функциональные зоны: S – селитебная, T – транспортная, F – промышленная

Так как параллельно с проведением опробования почв г. Минска осуществлялось определение содержания в них изучавшихся в данный год химических веществ и анализ литературных источников по данной теме, то к началу выполнения полевых работ в областных и районных центрах Беларуси были ясны основные закономерности распределения этих веществ в почвах всех изучаемых функциональных зон. По этой причине в 5 областных и 6 районных

центрах Беларуси для подтверждения установленных закономерностей проводилось контрольно-рекогносцировочное опробование, включавшее изучение 12 пробных площадок на каждый город, с методической точки зрения аналогичное таковому для г. Минска. По сравнению с работами 2007–2008 гг., когда исследовалось содержание в землях (почвах) Cr, Ni, Zn, Cu, Cd, Pb, в сеть опробования в 2009 г. гг. Лида, Молодечно, Осиповичи применительно к нефтепродук-

там (а также As, Hg), были внесены необходимые изменения. Для характеристики загрязнения НП сельскохозяйственных земель были также дополнительно опробованы 12 площадок, расположенных на пахотных землях различных хозяйств в пределах ББЗ.

Лабораторные работы

Подготовка проб почв к химико-аналитическому определению НП включала перемешивание (гомогенизацию) объемных смешанных образцов по мере их сушки в затененных комнатных условиях (около 1 месяца) и выделение из общей пробы гранулометрической фракции менее 1 мм при помощи алюминиевых сит для дальнейших анализов.

Непосредственно аналитические работы по определению в почвах НП выполнялись в Филиале «Центральная лаборатория» РУП «Белгеология» (теперь – РУП «Научно-производственный центр по геологии») по методике [6]. В дополнение было проведено выборочное фракционное разложение ряда почвенных образцов методом пиролиза горных пород на базе масс-спектрометра в отделе геологии нефти и газа БелНИГРИ (РУП «Научно-производственный центр по геологии»).

Всего было проанализировано 235 почвенных образцов из 373 отобранных (из них на г. Минск приходилось 91 смешанная проба (из 229 отобранных), на областные и районные

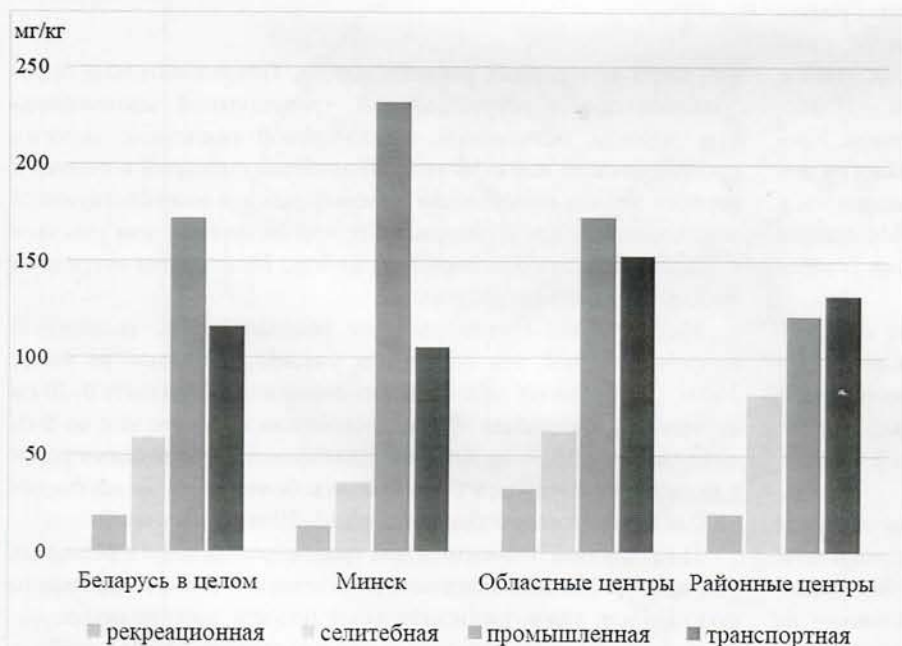


Рисунок 4 – Содержание НП в почвах (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Республики Беларусь, мг/кг



центры – 132 смешанные пробы, на Березинский биосферный заповедник – 12 смешанных проб). Подобный отбор проб в г. Минске «с запасом» (более чем двукратным) позволил провести (в случае необходимости) дополнительные уточнения и проверки. Кроме того, был проведен дополнительный выборочный контрольный отбор проб.

Статистическая обработка полученных данных включала в себя определение закона распределения величин концентраций исследуемых веществ, расчет основных статистических показателей, непараметрический дисперсионный анализ Краскела-Уоллиса и построение геохимических карт.

Обсуждение результатов

Обзор литературных источников по техногенному загрязнению почв НП, основанный на работах Ю.И. Пиковского, С.Я. Трофимова с соавторами, Н.П. Солнцевой, а также результаты собственных исследований, приведены в работах В.С. Хомича с соавторами [3, 10].

Согласно [3, 10] загрязнение земель НП приводит к изменению морфологических, физических, физико-химических и микробиологических свойств почв, перестройке почвенного профиля и его деградации. Вытеснение воздуха НП и разрушение структуры почв приводят к нарушению кислородного и водного режимов. Загрязнение сказывается, в первую очередь, на гумусовом горизонте почв (увеличение общего содержания *Сорг*, снижение содержания гумусовых и фульвокислот, увеличение содержания негидролизуемого остатка).

Наиболее выражено загрязнение почв НП в зонах нефтедобычи и при аварийных разливах ее при транспортировке. В городах, как правило, большую роль играет загрязнение, связанное с автозаправочными станциями (далее – АЗС), нефтепродуктохранилищами, складами горюче-смазочных материалов, транспортными магистралями, нефтеперерабатывающими заводами и др. Проведенные исследования [10], показывают, что содержание НП в поверхностном горизонте почв в зонах влияния АЗС и нефтепродуктохранилищ варьирует от менее 1 мг/кг до 129 г/кг (г. Минск, Гомель, Кобрин).

Существенное загрязнение НП выявлено вдоль проезжих частей улиц и автомобильных дорог. В част-

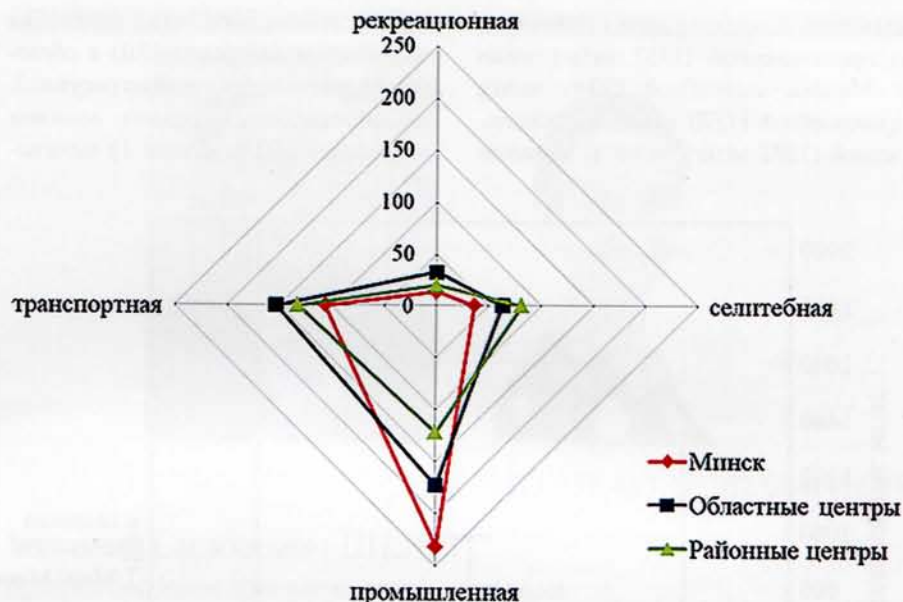


Рисунок 5 – Диаграмма содержания НП в почвах (0–20 см) различных функциональных зон городов Беларуси, мг/кг

ности, в г. Минске (просп. Пушкина, ул. Славинского и др.) на расстоянии 1 м от проезжей части содержание НП варьировало от 1500 до 2330 мг/кг при среднем значении 1840 мг/кг. При удалении от дороги на 10 м концентрация НП снижалась в 3,7 раза, на 25 м – в 12 раз.

Выполненное нами исследование содержания НП в почвах городов Беларуси позволяет сделать следующие выводы.

Распределение величин содержания НП в землях (почвах) городов в большинстве случаев подчиняется логарифмически нормальному закону распределения (таблица 1). Исключение составляют почвы бывших сельскохозяйственных земель ББЗ ($x_A = 1,83$ мг/кг, пределы колебания 0,54–3,34 мг/кг).

Уровни концентрации НП, превышающие 1000 мг/кг, на участках без визуальных признаков загрязнения ►

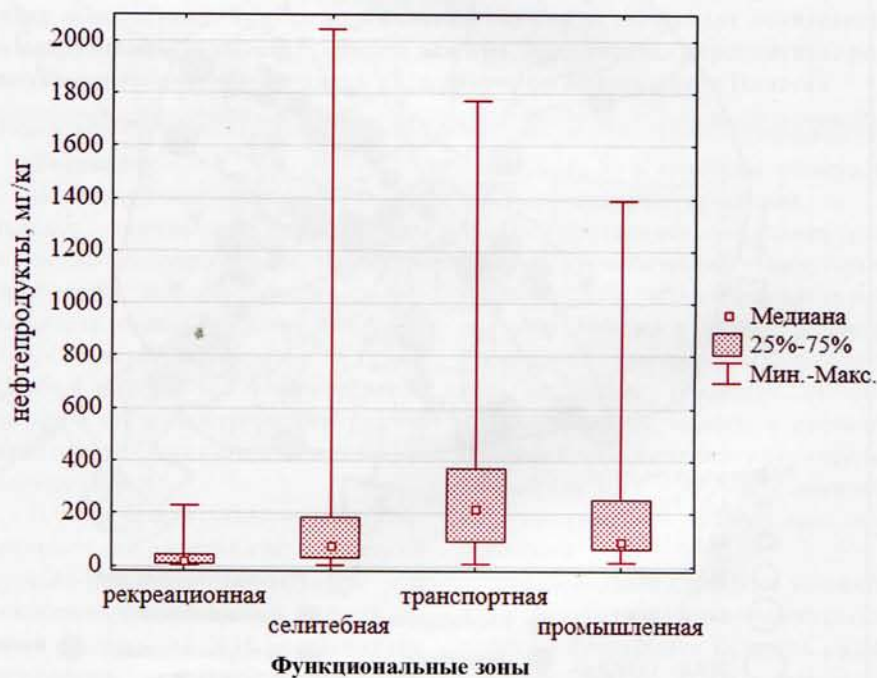


Рисунок 6 – Варьирование содержания НП в почвах (0–20 см) различных функциональных зон урбанизированных территорий Беларуси, мг/кг



выявлены в транспортной (1109 мг/кг) и промышленной (1357 мг/кг) зонах г. Минска, селитебной (2046 мг/кг), транспортной (1770 мг/кг) и промышленной (1392 мг/кг) зонах г. Борисова

и др. В обобщенном виде параметры варьирования содержания НП в обследованных почвах показаны на рисунке 3.

Сопоставление средних величин содержания НП (таблица 1) показы-

вает, что для *Беларуси в целом* в настоящее время характерна следующая тенденция: минимальная средняя концентрация НП в почвах отмечается в рекреационной зоне, примерно в 3,2 раза большая – в селитебной и в 9,4 раза – в транспортной. При переходе к промышленной зоне данный показатель снижается и превосходит соответственно рекреационную зону в 6,4 раза. При этом сама рекреационная зона в среднем загрязнена НП в 10 раз больше, чем почвы ББЗ.

Вследствие значительно меньших размеров городских территорий в областных и районных центрах Беларуси наблюдается явное геохимическое «взаимовлияние» различных функциональных зон, в первую очередь, проявляющееся в миграции НП из транспортной зоны во все другие. Так, по нашим оценкам, при меньшей интенсивности движения транспорта в *областных центрах*, почвы рекреационной зоны на их территории содержат НП в 2,4 раза больше, чем в г. Минске, селитебной – в 1,7 раза, промышленной – в 1,5 раза, тогда как сама транспортная зона харак-

теризуется снижением соответствующей средней концентрации НП в 1,3 раза.

Еще большее «смыкание» селитебной и транспортной зон проявляется в *районных центрах*. При наименьшей средней концентрации НП в почвах в транспортной зоне (в 1,9 раза ниже, чем в г. Минске), соответствующее содержание НП в селитебной зоне наоборот увеличивается в 2,3 раза.

Аналогичная картина наблюдается и для промышленных зон областных и районных городов. Большая скученность и расположение территорий обследованных предприятий среди жилой застройки

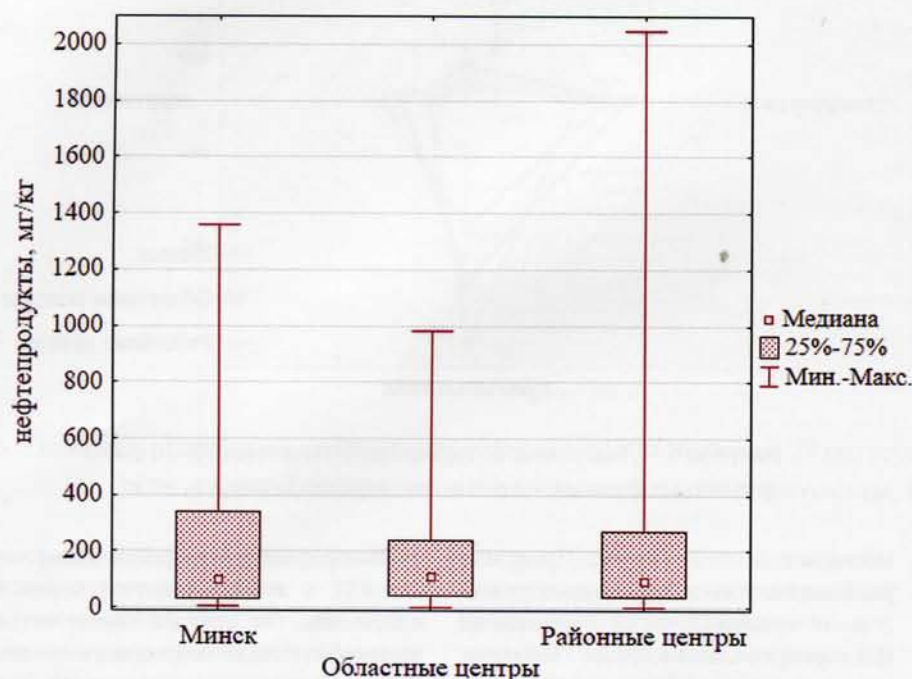


Рисунок 7 – Варьирование содержания НП в почвах (0–20 см) г. Минска, областных и районных центров, мг/кг

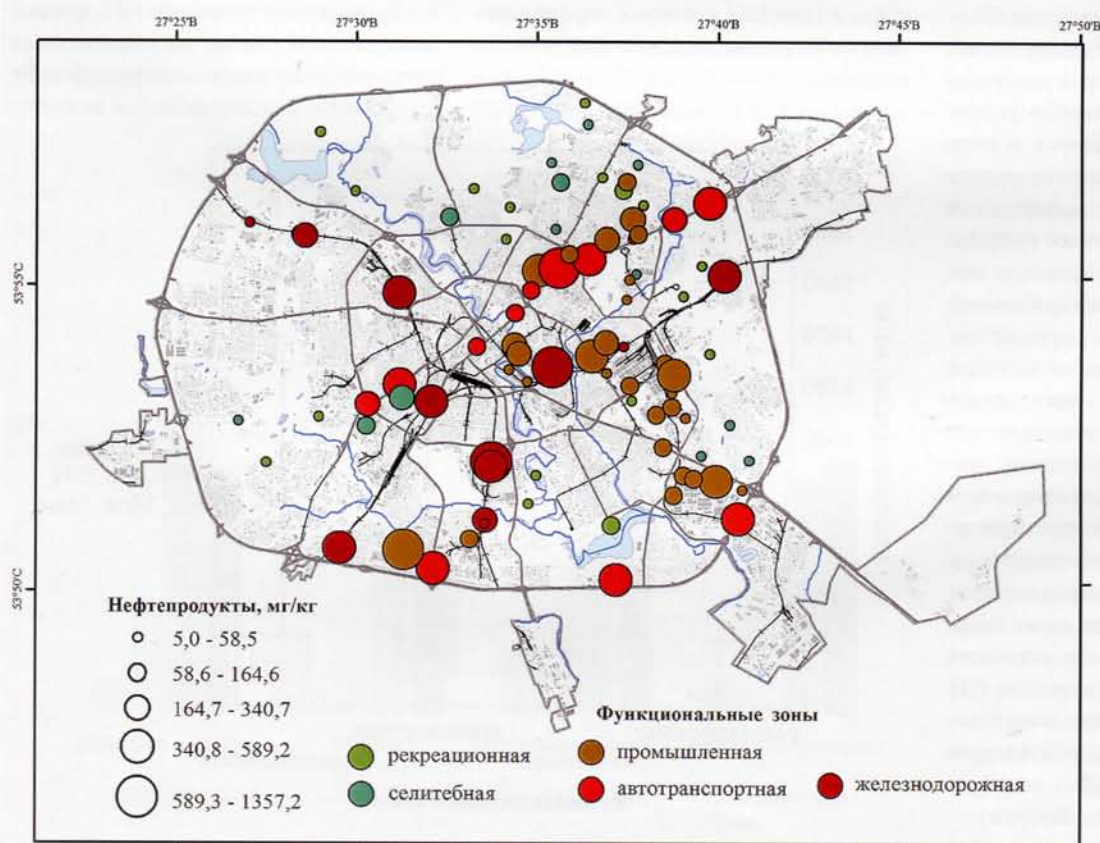


Рисунок 8 – Содержание НП в почвах (0–20 см) г. Минска в целом, мг/кг

приводят к тому, что транспортные выбросы (в первую очередь автотранспорта) более четко проявляются в промышленных зонах этих городов, чем в г. Минске (среднее содержание НП в почвах 1,3–1,4 раза выше).

Сказанное наглядно иллюстрируется данными рисунков 4 и 5.

С помощью непараметрического дисперсионного анализа (Kruskal-Wallis test, $H = 47,1$, $p = <0,001$) установлены статистически значимые различия между функциональными зонами по содержанию НП в почвах (рисунок 6). Апостериорные сравнения показали, что по содержанию НП почвы рекреационной функциональной зоны ($p = <0,001-0,010$) отличаются от других (транспортной, промышленной, селитебной) зон и характеризуются наименьшим их содержанием. Выявлены также различия между транспортной и селитебной зонами ($p = 0,002$).

Между г. Минском, областными и районными центрами (рисунок 7) статистически значимых различий по содержанию НП в почвах не установлено ($H = 0,381$, $p = 0,83$).

Таким образом, проведенное исследование позволяет полагать, что современное распределение НП в почвах различных функциональных зон городов Беларуси (вне площадок АЗС и нефтехранилищ), в первую очередь, по-видимому, определяется транспортным фактором. При этом средняя степень загрязнения самой транспортной зоны коррелирует с административной принадлежностью городов (районные, областные центры, столица): 122 мг/кг – 173 мг/кг – 232 мг/кг соответственно (таблица 1). Среднее содержание НП в автотранспортной и железнодорожной подзонах транспортной зоны урбанизированных территорий Беларуси по нашим данным практически совпадает: 173,2 (17,9–916) мг/кг ($n = 34$) и 170,3 (7,44–1770) мг/кг ($n = 39$) соответственно.

Роль автомобильного и железнодорожного транспорта как важнейшего современного источника поступления НП в почвы Беларуси на примере г. Минска иллюстрирует рисунок 8.

Продолжение следует ■