

СОДЕРЖАНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ г. КРАСНОЯРСКА

R.A. Sharafutdinov, A.R. Mitev,
A.A. Romanov, I.V. Borisova

THE CONTENT OF OIL PRODUCTS IN THE SOIL COVER OF KRASNOYARSK

Шарафутдинов Р.А. – канд. геогр. наук, доц. каф. экологии и природопользования Института экологии и географии Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ruslanate@mail.ru

Митев А.Р. – асп. каф. экологии и природопользования Института экологии и географии Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ruslanate@mail.ru

Романов А.А. – канд. техн. наук, доц. базовой каф. геоинформационных систем Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ruslanate@mail.ru

Борисова И.В. – канд. геогр. наук, доц. каф. экологии и природопользования Института экологии и географии Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ruslanate@mail.ru

Sharafutdinov R.A. – Cand. Geogr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology and Environmental Management, Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ruslanate@mail.ru

Mitev A.R. – Post-Graduate Student, Chair of Ecology and Environmental Management, Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ruslanate@mail.ru

Romanov A.A. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Basic Chair of Geographic Information Systems, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ruslanate@mail.ru

Borisova I.V. – Cand. Geogr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology and Environmental Management, Institute of Ecology and Geography, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ruslanate@mail.ru

Приводятся результаты оценки уровня загрязнения нефтепродуктами (НП) почв города Красноярск, являющегося крупным промышленным центром. Исследования выполнены в период 2015–2017 гг. и охватывают почвенный покров трех функциональных зон города. Уровень загрязнения оценивался в соответствии с общепринятой градацией и по отношению к фоновым почвам: подзолам иллювиально-гумусовым и темно-серым типичным. Содержание НП определяли флуориметрическим методом с использованием анализатора «Флюорат-02-2М». Активность фермента уреазы в почвах устанавливали по скорости разложения карбамида. Наибольшую роль в формировании почвенного покрова Красноярск принимают урбаноэмы, культурозэмы, рекреозэмы, реплантозэмы, конструкторозэмы, псамозэмы. В 220 из 264 исследованных проб содержание НП находится в пределах 100–500 мг/кг, соответствующая уровню повышенного фона. Наибольшие концентрации характерны для почв производственной зоны города, здесь 34 % проб загрязнены на допустимом уровне. Усредненные значения НП в почвах ландшафтно-рекреационной и селитебной зон составили 110 и 125 мг/кг соответственно. Варьирование концентраций НП в городских почвах подвержено сезонной динамике, максимальные уровни характерны для периода май-июнь. Установлено, что изменение активности амилазы имеет более плотную связь с таким параметром, как рН водной вытяжки, комплексно отражающим уровень загрязнения почв ($r=0,72$), нежели с содержанием нефтепродуктов ($r=0,52$). Уровни биологической активности почв ландшафтно-рекреационных зон указывают, что большинство из них на сегодняшний день обладает средней или высокой потенциальной способностью к самоочищению. Выявленные уровни concentra-

ции НП в почвах Красноярск предлагается использовать как основу для проведения долговременного мониторинга.

Ключевые слова: загрязнение почв, нефтепродукты, ферментативная активность.

The results of the assessment of the level of pollution by oil products (OP) of the soils of the city of Krasnoyarsk which is a large industrial center are given. The researches were executed during 2015–2017 and soil cover of three functional zones of the city was investigated. The level of pollution was estimated according to the standard gradation and on the relation to background soils: to podzols illuvial, humic and dark gray typical. The OP content was determined by the fluorimetric method using the "Fluorate-02-2M" analyzer. The activity of enzyme of urease in the soils was established on the speed of decomposition of carbamide. The greatest role in the formation of soil cover of Krasnoyarsk is accepted by urbanozyom, kulturozyom, recreazyom, replantozyom, constructozyom, psamozyom. In 220 of 264 OP investigated tests the contents was in the limits of 100–500 mg/kg, corresponding to the level of raised background. The greatest concentration were characteristic for the soils of production zone of the city, here 34 % of the tests were polluted at admissible level. OP average values in the soils of landscape and recreational and residential zones made 110 and 125 mg/kg respectively. The variation of concentration of OP in city soils is subject to seasonal dynamics, maximum levels are typical for the period May-June. It was established that the change of activity of amylase had more dense communication with such parameter, as pH of aqueous extract, in the complex reflecting the level of pollution of soils ($r=0.72$), than with the content of oil products ($r=0.52$). The levels of biological activity of soils of landscape and recreational zones specify that the majority of

them possess average or high potential ability to self-cleaning today. The revealed levels of concentration of OP in the soils of Krasnoyarsk are offered to be used as the basis for carrying out long-term monitoring.

Keywords: soil pollution, oil products, ferment activity.

Введение. В настоящее время при проведении экологического мониторинга почвам урбанизированных территорий уделяется недостаточно внимания, несмотря на то, что их экологические функции не менее значимы, чем в естественных ландшафтах. Именно они обеспечивают долговременное депонирование поступающих из атмосферы загрязняющих веществ, предотвращают или замедляют их проникновение в грунтовые воды, способствуют микробиологической деструкции поллютантов.

Среди наиболее распространенных загрязняющих веществ, характерных для урбанизированных территорий, нефтепродукты (НП) занимают одну из лидирующих позиций. Это обуславливает необходимость обеспечения контроля их содержания для установления потенциала самоочищения почв. Кроме того, знание текущих уровней загрязнения имеет важное значение и при определении ущерба, причиненного в результате хозяйственной деятельности почвам как объекту охраны окружающей среды.

Цель работы. Анализ содержания нефтепродуктов в почвенном покрове г. Красноярска, являющегося крупным промышленным центром.

Объекты, методы и результаты исследований. Исследования выполнялись в период 2015–2017 гг. Отбор и подготовка почвенных проб осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 в интервалах глубин 0–10 и 10–15 см. Определение содержания НП выполнено флуориметрическим методом, согласно ПНД Ф 16.1:2.21-98, с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02-2М» [1].

Ферментативную активность исследуемых почв определяли по активности фермента уреазы экспресс-методом Т.В. Аристовской (по скорости разложения карбамида), считаемым достаточно информативным и, кроме того, в должной степени апробированным для почв урбанизированных территорий [2]. Исходная навеска пробы составляла 50 г, содержание мочевины – 0,25 г, регистрация pH выполнялась в автоматическом режиме через каждые 15 минут при помощи многопараметрического измерителя Multi 340i. Контрольной точкой измерения времени являлся момент увеличения pH на 1,5 единиц от исходной.

Общее количество исследованных проб почв составило 264, из них 198 отобраны в пределах левобережной части города и островов Татышев, Отдыха.

С учетом интенсивности антропогенной нагрузки и функциональной организации территории почвы отнесены к трем зонам: селитебной, производственной, ландшафтно-рекреационной.

В качестве фоновых значений концентрации нефтепродуктов приняты значения, полученные для 12 образцов подзолов (иллювиально-гумусовых), отобранных в центральной части Гремячей гривы, и 16 образцов темно-серых почв, отобранных на расстоянии 3 км северо-западнее от деревни Замятино. Фоновые участки выбраны в силу их высокой облесенности (возраст большинства деревьев, по данным дендрохронологического анализа, превышает 68 лет) и недоступности для автомобильного транспорта, что, по нашему мнению, исключает возможность загрязнения почв ГСМ. Практически во всех фоновых пробах содержание нефтепродуктов находилось на уровне <40 мг/кг, лишь в одном случае составило 55 мг/кг сухой массы.

Для оценки уровня степени загрязнения почв НП в качестве «сигнального» критерия рассматривалась концентрация 1,0 г/кг, несмотря на недостаточность ее обоснования [3–6]. По литературным данным, можно опираться на следующие примерные показатели: массовые доли НП в почвах до 100 мг/кг – фоновые, экологической опасности для среды они не представляют. Загрязненными считают почвы, содержащие свыше 500 мг/кг НП. Массовые доли от 500 до 1000 мг/кг соответствуют умеренному загрязнению, от 1000 до 2000 – умеренно опасному загрязнению, от 2000 до 5000 мг/кг – опасному, а свыше 5000 мг/кг – очень сильному загрязнению почв [7].

Содержание НП в почвах города Красноярска характеризуется очень высокой вариабельностью в пределах каждой функциональной зоны. Это связано как с точечным характером загрязнения, так и с особенностями самих городских почв: резкой неоднородностью структуры почвенного покрова. Урбанозёмы, культурозёмы, рекреозёмы, реплантозёмы, конструкторозёмы, псамозёмы – все они, помимо характерных свойств, могут иметь совершенно различный возраст, следовательно, разную экспозицию, приводящую к вариациям уровня накопления НП (некрозёмы не были охвачены исследованиями).

Кроме того, городская среда отличается огромным разнообразием субстрата, что определяет отличие сорбционных свойств почвенных горизонтов, оказывая значительное влияние на полноту извлечения НП растворителем.

Тем не менее в почвах различных функциональных зон средние концентрации различаются незначительно, что объясняется сопоставимой интенсивностью поступления НП. Сравнительный максимум их содержания ожидаемо характерен для почв промышленных зон (табл. 1).

Таблица 1

Распределение концентраций нефтепродуктов в почвах различных функциональных зон

Функциональная зона	Содержание нефтепродуктов, мг/кг		
	Среднее	Минимальное	Максимальное
Производственная	265	60	2300
Ландшафтно-рекреационная	110	< 40	240
Селитебная	125	< 40	320
Фоновые участки	< 40	< 40	55

Тем не менее даже здесь средняя концентрация НП не превышает 265 мг/кг. Лишь на одном участке Советского района, который соответствует производственной функциональной зоне, содержание НП находилось на уровне 2300 ± 391 мг/кг, что соответствует среднему уровню загрязнения. Также в Советском районе, в районе авторынка «777» по ул. Ястынская, выявлено содержание НП на уровне 1180 ± 200 мг/кг, соответствующее низкому уровню загрязнения.

Несомненно, это не указывает на выявленный нами абсолютный максимум возможных концентраций, но демонстрирует общую картину загрязнения почв города НП.

По сравнению с другими городами России, средние уровни загрязнения почв Красноярска нефтепродуктами ниже, чем Москвы (235 мг/кг), и примерно равны уровням Санкт-Петербурга (180 мг/кг).

Распределение средних и максимальных концентраций НП в почвах различных районов города демонстрирует схожую картину (табл. 2).

Наиболее высокие средние значения НП в почвах характерны для Советского, Центрального, Свердловского районов. Наименьшие значения характерны для Кировского района, а также для ландшафтно-рекреационных территорий – островов Отдыха и Татышев. Значительные ограничения на въезд и передвижение автотранспорта по территории последнего является причиной наименьшего уровня накопления НП.

В то же время в пределах центральной части о. Татышев, в непосредственной близости от Октябрьского моста, выявлены концентрации НП на уровне 190–240 мг/кг, что указывает на автотранспорт как на основной их источник. Максимальное содержание НП приурочено к верхнему 5-см слою техногенного рекультивационного горизонта, а на глубине более 20 см она составляет менее 40 мг/кг (табл. 3). В целом картина демонстрирует наиболее типичный аккумулятивный характер распределения НП в почвах Красноярска.

Таблица 2

Распределение концентраций нефтепродуктов в почвах различных районов г. Красноярска

Район	Содержание нефтепродуктов, мг/кг		
	Среднее	Минимальное	Максимальное
Советский	185	<40	2300
Центральный	175		420
Октябрьский	120		310
Железнодорожный	155		280
Кировский	115		180
Свердловский	165		240
о.Татышев	65		160
о.Отдыха	115		210
Среднее	138,7		

Таблица 3

Распределение нефтепродуктов в профиле реплантозёма гетерогенного высокогумусного супесчаного

Глубина, см	Горизонт	Содержание нефтепродуктов, мг/кг				рН, вод.			
		0	100	200	300	7	8	9	10
0	FA1	[График]				[График]			
10	TCH	[График]				[График]			
20	TCH2	[График]				[График]			
30		[График]				[График]			
40	C	[График]				[График]			

В наших исследованиях в 96 % случаев наибольшая концентрация НП выявлялась именно в верхнем почвенном горизонте. Это указывает на то, что вертикальная миграция при существующем объеме поступающих НП не способна обеспечить в большинстве случаев значимые концентрации НП на глубине свыше 30 см.

Говоря об иных источниках НП в почвах города, следует заметить, что к ним стоит отнести ряд материалов,

повсеместно встречающихся в виде включений – гудрон, асфальт и пр. При аналитической обработке как современных, так и погребенных почвенных горизонтов, содержащих фрагменты асфальтовой крошки, выявляемая концентрация НП почти всегда превышала 120 мг/кг. Выполненное нами отдельное растворение в гексане фрагментов асфальта подтвердило возможность перехода в раствор части материала, при этом в гексановом элюате

наблюдалась интенсивная полоса поглощения 1600 см^{-1} , соответствующая ароматическим соединениям.

Варьирование концентраций НП в почвах города подвержено сезонной динамике. Наибольшее содержание НП отмечается в летний период (конец мая, начало июня), наименьшее – в зимний, что в целом соответствует выявленной динамике [8]. Однако указанная закономерность характерна лишь для участков, на которых осуществляется накопление снега, удаляемого с проезжей части, автостоянок, придомовых территорий. Таким образом, загрязненный снеговой покров после таяния обеспечивает частичное перемещение НП в почву, что является причиной летнего максимума их концентрации. В течение лета и осени происходит, вероятно, их перераспределение, дегазация, частичная деструкция.

При рассмотрении влияния НП на почвы следует опираться на биогеохимические принципы и оперировать не просто концентрациями НП, а выявлять пороговые значения, при которых начинается деструктивное воздействие на экосистемы.

В этом отношении представляет интерес сопоставление концентраций НП в почвах с показателем уровня их уреазной активности, который успешно используется в оценке экологического состояния нефтезагрязненных почв [9].

Уреазная активность в пробах почв, отобранных в парковой зоне, на участках с хорошо развитым напочвенным покровом и повышенным содержанием нефтепродуктов (вплоть до максимума в 240 мг/кг), варьирует от 3,5 до 6,5 и может считаться высокой.

Можно предположить, что загрязнение почв нефтепродуктами в определенной степени стимулирует уреазную активность, так как известно, что активность уреазы прямо зависит от содержания органического углерода в почве [10].

Для примера: скорость разложения мочевины в фоновых подзолах иллювиально-гумусовых составляла 4,5–5,5 ч.

Однако повышенные концентрации нефтепродуктов в почвах, лишенных растительного покрова, как показали проведенные исследования, не приводят к увеличению уреазной активности. Псамозёмы типичные, содержащие НП на уровне 2300 мг/кг , демонстрируют низкую уреазную активность 9,5 ч. При этом псамозёмы типичные, содержащие от 80 до 120 мг/кг НП, практически лишенные растительного покрова, также демонстрируют низкую уреазную активность (9 ч).

Таким образом, в городских почвах уреазная активность определяется большим количеством параметров. По результатам изучения 264 проб, сила связи между содержанием в почве НП и уреазной активностью средняя ($r=0,52$).

Высокая корреляция ($r=0,72$) выявлена между показателями уреазной активности почвы и pH водной вытяжки. Такая высокая зависимость уреазной активности почв от их кислотно-щелочных условий в данном случае вполне объяснима – под действием перманентной техногенной нагрузки, которую испытывают урбанизированные территории, характер почвенного раствора изменяется в щелочную сторону, вплоть до 10 единиц pH.

С увеличением pH до нейтральных и слабощелочных значений биологическая активность возрастает, а затем наблюдается тенденция к ее снижению. Отмеченный факт не противоречит известному для ненарушенных почв, когда максимальная активность ферментов проявляется в узком интервале значений pH [11].

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что такой параметр, как pH водной почвенной вытяжки, является весьма удобным показателем оценки качества городских почв. Уровень pH, в значительной степени смещенный в щелочную область, является отражением техногенного загрязнения (засоление, поступление солей щелочных и щелочноземельных металлов вместе с аэрозольными выпадениями от топливосжигающих установок). Учитывая полученные нами ранее результаты [12], можно заметить, что в указанных случаях будет иметь место комплексное загрязнение, связанное с повышенным содержанием хлоридов, солей тяжелых металлов, а также неблагоприятными общими физическими свойствами почв.

Заключение. Для 83 % обследованных почв Красноярска характерно содержание НП в диапазоне $100\text{--}500\text{ мг/кг}$, что соответствует уровню повышенного фона. Усредненное значение концентраций НП в почвах производственной зоны составили 265 мг/кг , для ландшафтно-рекреационной и селитебной – 110 и 125 мг/кг соответственно. Наибольший уровень загрязнения нефтепродуктами характерен для почв производственной зоны, где он достигает допустимого и сильного уровня. Варьирование концентраций НП в городских почвах подвержено сезонной динамике, максимальные уровни характерны для периода май-июнь.

Уровни биологической активности почв ландшафтно-рекреационных зон указывают на то, что большинство из них на сегодняшний день обладает средней или высокой потенциальной способностью к самоочищению. При этом изменение активности амилазы имеет более плотную связь с таким параметром, как pH водной вытяжки, комплексно отражающим уровень загрязнения почв ($r=0,72$), нежели с содержанием нефтепродуктов ($r=0,52$).

Литература

1. ПНД Ф 16.1:2.21-98 (М03-03-2012). Количественный химический анализ почв и отходов. Методика измерения массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». – М.: Министерство природных ресурсов РФ, 1998. – 23 с.
2. Аристовская Т.В., Чулунова М.В. Экспресс-метод определения биологической активности почв // Почвоведение. – 1989. – № 1. – С. 142–147.
3. Опекунов А.Ю. Экологическое нормирование и оценка воздействия на окружающую среду. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. – 260 с.
4. Порядок определения ущерба от загрязнения земель химическими веществами / Комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству. – М., 1993. – 7 с.

5. Протасов В.Ф. Экология и охрана окружающей среды в России. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 508 с.
6. Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Экологическое нормирование почв и управление их качеством // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 582–596.
7. Гусейнов А.Н., Могутова Л.М., Губарева Н.Н. [и др.]. Нефтепродукты и 3,4-бензпирен в почвах города Тюмени // Экология и промышленность России. – 2000. – № 7. – С. 31–34.
8. Вишнева Ю.С., Полова Л.Ф. Влияние автотранспорта на содержание углеводов нефтепродуктов в почвах селитебного ландшафта г. Архангельска // Universum: Химия и биология: электрон. науч. журн. – 2016. – № 4 (22).
9. Физиологическая активность почв при разных уровнях нефтяного загрязнения / Л.К. Каримуллин, А.М. Петров, А.А. Вершинин [и др.] // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2015. – № 4 (4). – Т. 17. – С. 797–802.
10. Емцев В.Т. Микробиология. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.
11. Sinsabaugh R., Lauber C., Weintraub M. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale // Ecol. – 2008. – Vol. 11. – № 11. – P. 1252–1264.
12. Федотова О.В., Шарафутдинов Р.А. Оценка состояния почв рекреационных территорий (на примере о. Татышев, г. Красноярск) // Науки о Земле на современном этапе: мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2012. – С. 123–125.
2. Aristovskaja T.V., Chugunova M.V. Jekspress-metod opredelenija biologicheskoj aktivnosti pochv // Pochvovedenie. – 1989. – № 1. – S. 142–147.
3. Opekunov A.Ju. Jekologicheskoe normirovanie i ocenka vozdejstvija na okruzhajushhuju sredu. – SPb.: Izd-vo SPbGU, 2006. – 260 s.
4. Porjadok opredelenija usherba ot zagrjaznenija zemel' himicheskimi veshhestvami/ Komitet RF po zemel'nym resursam i zemleustrojstvu. – М., 1993. – 7 s.
5. Protasov V.F. Jekologija i ohrana okruzhajushhej sredy v Rossii. – М.: Finansy i statistika, 1999. – 508 s.
6. Jakovlev A.S., Evdokimova M.V. Jekologicheskoe normirovanie pochv i upravlenie ih kachestvom // Pochvovedenie. – 2011. – № 5. – S. 582–596.
7. Gusejnov A.N., Mogutova L.M., Gubareva N.N. [i dr.]. Nefteprodukty i 3,4-benzpiren v pochvah goroda Tjumeni // Jekologija i promyshlennost' Rossii. – 2000. – № 7. – S. 31–34.
8. Vishnevaja Ju.S., Popova L.F. Vlijanie avtotransporta na sodержinie uglevodorodov nefteproduktov v pochvah selitebnogo landshafta g. Arhangel'ska // Universum: Himija i biologija: jelektron. науч. zhurn. – 2016. – № 4 (22).
9. Fiziologicheskaja aktivnost' pochv pri raznyh urovnjah nefljanogo zagrjaznenija / L.K. Karimullin, A.M. Petrov, A.A. Vershinin [i dr.] // Izv. Samar. науч. centra RAN. – 2015. – № 4 (4). – Т. 17. – S. 797–802.
10. Emcev V.T. Mikrobiologija. – М.: Drofa, 2005. – 445 s.
11. Sinsabaugh R., Lauber C., Weintraub M. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale // Ecol. – 2008. – Vol. 11. – № 11. – R. 1252–1264.
12. Fedotova O.V., Sharafutdinov R.A. Ocenka sostojanija pochv rekreacionnyh territorij (na primere o. Tatyshhev, g. Krasnojarsk) // Nauki o Zemle na sovremennom jetape: mat-ly IV Mezhdunar. науч.-практ. конф. – М., 2012. – S. 123–125.

Literatura

1. PND F 16.1:2.21-98 (M03-03-2012). Kolichestvennyj himicheskij analiz pochv i othodov. Metodika izmerenija massovoj doли nefteproduktov v probah pochv i gruntov fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti