

РАЗДЕЛ II БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Физико-химические и биологические проблемы почвоведения

УДК 574.14:504.6:502.1

DOI: 10.18384/2310-7189-2018-3-99-109

СОВРЕМЕННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МОНИТОРИНГЕ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

Мынбаева Б.Н.¹, Анарбекова Г.Д.², Мусапиров Д.А.²

¹ *Казахский национальный педагогический университет имени Абая*

050010, Алматинская область, г. Алматы, ул. Казыбек би, 30, Республика Казахстан

² *Казахский национальный аграрный университет*

050010, Алматинская область, г. Алматы, просп. Абая, 8г/7а, Республика Казахстан

Аннотация. Общеизвестно, что в городских почвах часто присутствуют загрязнители неорганической и органической природы. Для оценки токсичности городских почв в данных исследованиях использованы спектральный метод и метод биотестирования. Объектами служили водные вытяжки урбаноземов и фоновой почвы. Оптическая плотность спектров поглощения и флуоресценции почвенных вытяжек в целом была характерна для гумусовых веществ. Однако при возбуждении светом с длиной волны 270 нм в спектре флуоресценции проб урбаноземов выявлены дополнительные пики в области 330...400 нм, что обусловлено органическими загрязнителями антропогенного происхождения. Также по разностным спектрам флуоресценции показано превышение в 1,5-3 раза квантового выхода флуоресценции для урбаноземов. Это свидетельствовало о присутствии нефтепродуктов, ПАВ или других органических загрязнителей в почвах г. Алматы. При использовании 2 биотестов не отмечена острая токсичность изучаемых почвенных образцов, но выявлена допустимая токсичность почв.

Ключевые слова: городские почвы (урбаноземы), спектры флуоресценции, биотестирование, поллютанты.

MODERN SPECTRAL AND BIOLOGICAL RESEARCH IN MONITORING OF URBAN SOILS

B. Mynbayeva¹, G. Anarbekova², D. Musapirov²

¹ Abai Kazakh National Pedagogical University

050010, Almaty Region, Almaty, Kazybek bi st., 30, Republic of Kazakhstan

² Kazakh National Agrarian University

050010, Almaty Region, Almaty, Abai Ave., 8d / 7a, Republic of Kazakhstan

Abstract. It is well known that urban soils often contain pollutants of inorganic and organic nature. In order to assess the urban soil toxicity the spectral and biotesting methods have been used. The research objects were water extracts of urban soils and background soil. The optical density of the spectra of absorption and fluorescence of soil extracts was generally characteristic of humic substances. However, upon excitation with light at a wavelength of 270 nm, additional peaks in the 330–400 nm were detected in the fluorescence spectrum of samples of urban soils, due to organic pollutants of anthropogenic origin. Also the quantum yield of fluorescence for urban soils showed an excess of 1.5-3 times according to the difference spectrum of fluorescence. This indicated the presence of petroleum products, surfactants and other organic pollutants in Almaty city's soils. The acute toxicity of the studied soil samples was not detected in using 2 biotests, but the permissible toxicity of soils was identified.

Key words: urban soils, fluorescence spectra, biotesting, pollutants.

Нарушение многих функций городских почв часто связано с загрязнением различными поллютантами. Общеизвестны антропогенные источники их поступления в почвы, причем большая доля загрязнителей накапливается в верхних слоях почвенного покрова. Для оценки токсичности городских почв, содержащих в повышенных количествах поллютанты, исследователи широко используют методы биотестирования [1; 8; 9; 11; 13].

Цель работы состояла в изучении спектрально-оптических характеристик почвенных вытяжек почв г. Алматы для установления их отличий от типичных спектров природных гумусовых веществ, а также установить токсичность почв по биотестам.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований служили почвенные пробы, которые отбирали на 5 участках территории г. Алматы: 4 – на территории города и 1 – за городом, методом «конверта» на глубине 0-25 см [3].

Почвенный покров г. Алматы представлен, в основном, светло-каштановыми почвами, однако, газоны и парковые зоны имеют искусственные улучшенные почвы: используют так называемый насыпной чернозем. На территории города пробы отбирали в порядке планового почвенного мониторинга г. Алматы вдоль просп. Раимбека, пересекающего город с востока на запад в широтном направлении, параллельно горам. Пробы из 3 участков (Т.1 – просп. Раимбека/ул. Пуш-

кина, Т.2 – просп. Раимбека/просп. Сейфуллина, Т.3 – просп. Раимбека/ул. Розыбакиева) отбирали возле автомагистралей с интенсивным движением транспорта; пробы из 4 участка (Т.4) – возле ТЭЦ-1.

Для биотестирования и спектральных измерений готовили водные вытяжки из почвенных образцов в соотношении 1:4 (почва/вода). К предварительно просеянному через сито (диаметр отверстий 2 мм) почвенному образцу (50 г) приливали дистиллированную воду (200 мл). Полученную суспензию помещали на ротатор и перемешивали при 120 об/мин в течение 3 ч. После чего пробы фильтровали через бумажный фильтр «белая лента». Процедура биотестирования проводилась в полученной таким образом водной вытяжке почв («исходная») и при разбавлении в 10, 100 и 1000 раз. В пробах измеряли рН, содержание кислорода, степень минерализации.

Для спектральных измерений все почвенные пробы, подготовленные на факультете почвоведения МГУ, разбавляли в 10 раз дистиллированной водой. Спектры испускания флуоресценции регистрировали с шагом 1 нм на флуориметре Solar CM2203 в стандартных кварцевых кюветах для флуориметрии при возбуждении на длинах волн 270, 310 и 355 нм. Электронные спектры поглощения измеряли на двулучевом спектрофотометре Unicо в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 10 мм. Значения оптической плотности, измеренные на длине волны возбуждения флуоресценции, использовались для расчета квантового выхода флуоресценции. Расчет квантового выхода флуоресценции $\Phi_{\text{фл}}$ проводили методом эталонного соединения, при-

мененного ранее для проб природной воды и коммерческих гуминовых препаратов [2; 4]. В качестве эталонного соединения использовался водный раствор сульфата хинина, поскольку по форме спектральной линии и положению максимума флуоресценции он близок к природным гумусовым [5; 2].

Результаты

Все почвенные пробы были отобраны на газонах с основой насыпного чернозема и травяным растительным покрытием. По морфологическим и физико-химическими свойствам они были отнесены к чернозему: плотность верхних органогенных горизонтов не превышала $1.2 \pm 0.5 \text{ г/см}^3$; порозность – $45.9 \pm 9.4\%$; общая влагоемкость почв – 35.7 ± 7.2 ; гумус – $22.9 \pm 4.4\%$; $C_{\text{общ.}}$ – $8.7 \pm 1.6\%$; $N_{\text{общ.}}$ – 0.48 ± 0.09 .

Контролем служили фоновые почвы г. Алматы (Т.5), взятые в 25 км от города. По морфологическим и физико-химическими свойствам они были отнесены к типу светло-каштановых почв, среднесуглинистым: плотность сложения – $1.2 \pm 0.6 \text{ г/см}^3$; порозность – $58.7 \pm 10.8\%$; общая влагоемкость почв – 26.5 ± 5.0 ; гумус – $18.9 \pm 3.4\%$; $C_{\text{общ.}}$ – $2.8 \pm 0.5\%$; $N_{\text{общ.}}$ – 0.33 ± 0.06 .

Для почвенных проб, взятых на территории г. Алматы и за городом (Т.1–5), в лаборатории молекулярной спектроскопии кафедры общей физики физического факультета МГУ были измерены спектры поглощения и флуоресценции. На рис. 1 показаны спектры оптической плотности исследованных водных почвенных вытяжек.

Оказалось, что их оптическая плотность монотонно убывала с увеличением длины волны поглощаемого света. Это свидетельствовало об их

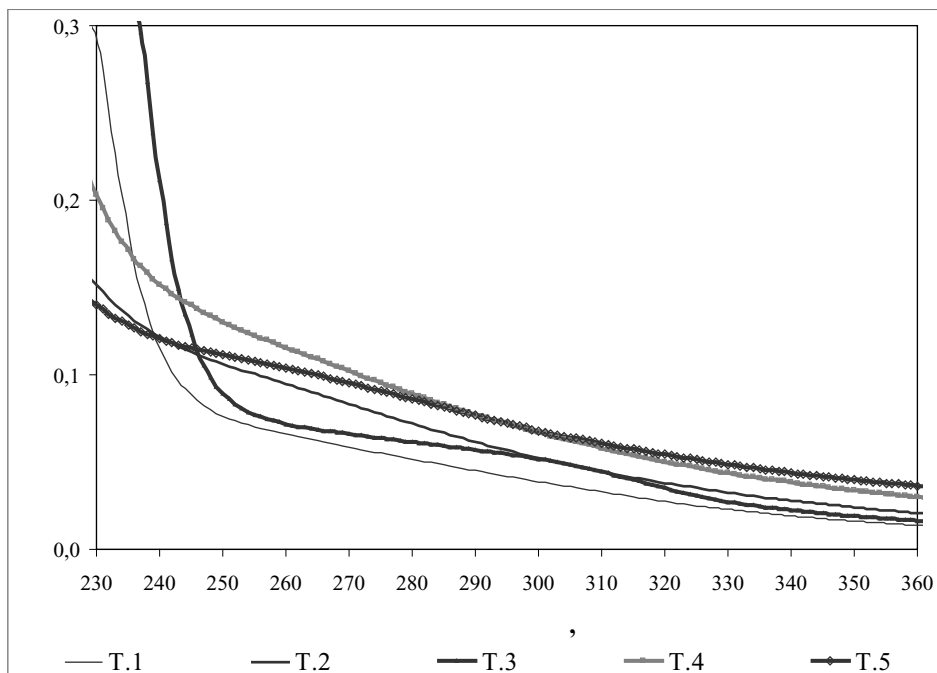


Рис. 1. Спектры оптической плотности почвенных вытяжек (пробы Т. 1–5)

сходстве с природными гумусовыми веществами, поглощающими свет в УФ и коротковолновой видимой области спектра. Как известно, гумусовые вещества являются макромолекулами без периодической структуры [6; 7], и только небольшая их часть может быть отнесена к известным классам химических соединений; большую же часть составляют органические молекулы различного молекулярного веса и «неклассифицируемого» химического состава. Поэтому и спектры поглощения набора макромолекул со всевозможными структурами являются бесструктурными. Только в случае некоторых типов гуминовых препаратов (например, из торфа или лигносульфата) в воде в их спектрах поглощения проявлялись особенности в виде локальных максимумов в УФ – области согласно исследованиям О.М. Горш-

ковой и О.Ю. Гостевой с соавт. [2; 4]. Гумусовые вещества определяют спектральные свойства РОВ природной воды. Растворенное органическое вещество в иностранной научной литературе часто называют «желтым веществом» (yellow substance по-английски и Gelbstoff по-немецки), потому что вода с высоким содержанием гуминовых соединений имеет желто-коричневый оттенок из-за поглощения УФ и синих лучей.

На следующих рисунках показаны спектры флуоресценции водных почвенных вытяжек (пробы Т.1–5) при возбуждении светом с длиной волны 270, 310 и 355 нм. Узкая линия в коротковолновой части спектров испускания – это линия комбинационного рассеяния света молекулами воды, расположенная на длинах волн 290, 340 и 405 нм, соответственно на рис. 2: а, б, в.

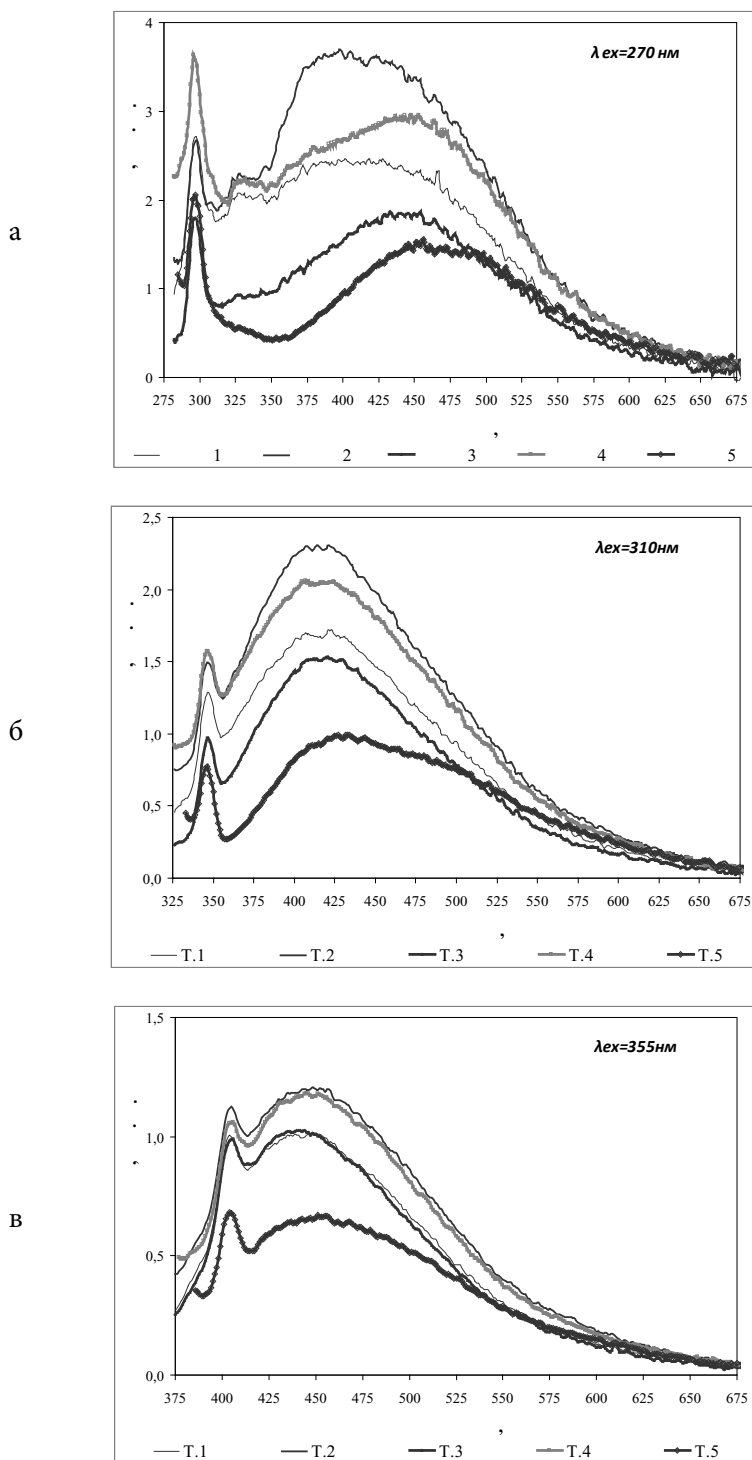


Рис. 2. Спектры флуоресценции водных почвенных вытяжек (пробы Т. 1–5) при возбуждении светом с длиной волны 270 (а), 310 (б) и 355 (в) нм.

Как и для природных гумусовых веществ, спектры флуоресценции изучаемых водных вытяжек почвенных проб г. Алматы представляли собой широкие линии с максимумом испускания, зависящим от длины волны возбуждения (рис. 2). Максимум свечения гумусовых соединений зависел от длины волны возбуждения. При изменении длины волны возбуждения от 270 до 310 нм максимум полосы испускания смещался в сторону более коротких длин волн, так называемый «синий сдвиг» спектров испускания [5; 10; 12]. Причем такой «синий сдвиг» сильнее всего проявляется для образцов природной морской воды, водной среды с микроорганизмами и водных почвенных вытяжек незагрязненной территории, и практически отсутству-

ет у растворов коммерческих гуминовых препаратов угольного происхождения [10; 4].

Однако имеются некоторые принципиальные отличия в спектрах флуоресценции урбанизированных почвенных проб из Т.1–4 и природных гумусовых веществ. При возбуждении светом с длиной волны 270 нм в спектре флуоресценции проб из Т.1, 2 и 4 выявлены дополнительные пики в области 330...400 нм, что может быть обусловлено органическими загрязнителями антропогенного происхождения. Чтобы четче выявить спектральный диапазон свечения загрязнителей, были рассчитаны разностные спектры (см. рис. 3 – разности спектров флуоресценции для проб из Т.1–4 и пробы из Т.5).

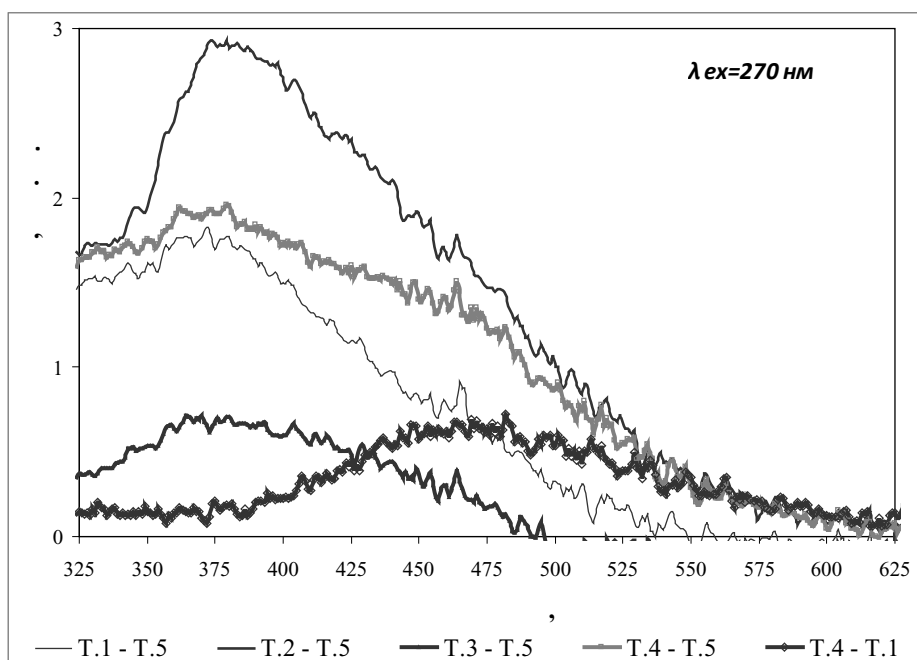


Рис. 3. Разностные спектры флуоресценции водных почвенных вытяжек из Т.1–4 при возбуждении светом с длиной волны 270 нм

Максимумы разностных спектров приблизительно соответствовали спектральным диапазонам свечения загрязнителей в пробах из Т.1–4: это 330, 375

(самая интенсивная полоса) и 475 нм.

В табл. 1 приведены значения квантового выхода флуоресценции и значений оптической плотности.

Таблица 1

**Спектрально-люминесцентные характеристики водных
вытяжек из почв г. Алматы**

Длина волны возбуждения λ_{ex} , нм	Проба из Т.1	Проба из Т.2	Проба из Т.3	Проба из Т.4	Проба из Т.5
Квантовый выход флуоресценции Φ , %					
270	4,8	4,7	2,8	3,4	1,6
310	4,2	4,3	2,5	3,0	1,4
355	4,5	3,8	3,6	2,5	1,2
Длина волны максимума испускания λ_{em} , нм					
270	400	404	443	449	457
310	423	415	422	417	436
355	440	450	440	450	457
Оптическая плотность D					
270	0,059	0,083	0,066	0,102	0,095
310	0,033	0,045	0,045	0,058	0,061
355	0,015	0,022	0,018	0,032	0,038

Для почвенной вытяжки из Т.5 получены значения квантового выхода флуоресценции, типичные для гумусовых веществ. Однако для проб из Т.1–4 квантовый выход флуоресценции был выше в 1,5–3 раза, чем для фоновой пробы из Т.5. Это может свидетельствовать о присутствии в образцах почвы флуоресцирующих соединений с квантовым выходом более значительным, чем для типичных гумусовых веществ почвы (нефтепродукты, ПАВ или другие органические загрязнители). Возможно, что отклонения от нормы вызваны поглощением и флуорес-

ценцией органических загрязнителей, например, нефтяных углеводородов из автомобильных выхлопов, так как участки отбора почвенных проб были расположены вблизи автомагистралей.

Токсичность почвенных проб г. Алматы была проверена с помощью биотестов. Первая серия экспериментов проведена с цериодафниями, и согласно табличным данным (табл. 2) в опытах с биотестом цериодафний в почвенных пробах не выявлено ярко выраженного токсического воздействия присутствующих в них загрязнителей.

Таблица 2

Оценка токсичности почв г. Алматы с использованием биотеста *Ceriodaphnia affinis*

Проба	Количество особей		Отклонение от контроля (гибель, %)		Токсическое действие
	Повторности				
	1	2	1	2	
контроль	10	10	0	0	
T.1	10	10	0	0	не оказывает
T.2	10	10	0	0	не оказывает
T.3	10	9	0	9	не оказывает
T.4	10	10	0	0	не оказывает
T.5	10	10	0	0	не оказывает

Во второй серии опытов при определении токсичности исследуемых почв был использован люминесцентный бактериальный тест *E. coli*. При анализе полученных данных были использованы следующие показатели токсичности: $It < 20$ – допустимая токсичность почвы, $20 < It < 50$ – токсичная почва, $It > 50$ – острая токсичность почвы. Результаты опытов представлены

в табл. 3 по индексу токсичности (ИТ или It), полученные по люминесценции биотеста *E. coli*. Отмечены как увеличение, так и снижение в интенсивности люминесценции бактериальной культуры *E. coli*. Как видно из данных (табл. 3), получены существенные вариации этого биоиндикаторного показателя в почвенных пробах: от -3,64 до +9,24.

Таблица 3

Оценка токсичности почв г. Алматы с использованием биотеста *E. coli*

Проба	Биотоксичность, импульсы				It (индекс токсичности)			It_{cp}	Токсическое действие
	Повторности								
	контроль	1	2	3					
контроль	1208	1415	1133	1208	-17,14	6,21	0,00	-3,64	
1	1208	1330	1268	1219	-10,10	-4,97	-0,91	-5,33	не оказывает
2	1208	1160	1116	1079	3,97	7,62	10,68	7,42	не оказывает
3	1208	1105	1110	1126	8,53	8,11	6,79	7,81	не оказывает
4	1208	1131	1119	1113	6,37	7,37	7,86	7,20	не оказывает
5	1208	1095	1088	1106	9,35	9,93	8,44	9,24	не оказывает

Заключение

В результате планового мониторинга г. Алматы были отобраны почвенные пробы из 5 участков городской территории вдоль магистрали с интен-

сивным движением (просп. Раимбека). По данным флуоресценции, почвенные образцы содержали органические загрязнители, по полученным спектрам, предположительно, нефте-

продукты. В результате проведенных экспериментов по установлению токсичности почв г. Алматы с помощью двух биотестов выявлена допустимая токсичность как городских почв, так и фоновой почвы. Но острая токсич-

ность изучаемых почвенных образцов отсутствовала.

Таким образом, почва под газонами и их сообществами не является токсичной или опасной для педобиоты.

Статья поступила в редакцию 14.05.2018

ЛИТЕРАТУРА

1. Бардина Т.В., Чугунова М.В., Бакина Л.Г., Маячкина Н.В. Изучение динамики экотоксичности городских почв методами биотестирования (на примере г. Санкт-Петербурга) // Тезисы докладов Междунар. конф. «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред», 4-6 февраля 2013 г. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. С. 18.
2. Горшкова О.М., Пацаева С.В., Федосеева Е.В. и др. Флуоресценция растворенного органического вещества природной воды // Вода: Химия и экология. 2009. № 11. С. 31–39.
3. ГОСТ 17.4.3.01-83 (СГ СЭВ 3347-82). Общие требования к отбору проб. М.: Госстандарт СССР, 1983. 57 с.
4. Гостева О.Ю., Изосимов А.А., Пацаева С.В. и др. Флуоресценция водных растворов промышленных гуминовых препаратов // Журнал прикладной спектроскопии. 2011. Т. 78. № 6. С. 943–950.
5. Милюков А.С., Пацаева С.В., Южаков В.И. и др. Флуоресценция наночастиц растворенного органического вещества в природной воде // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2007. № 6. С. 34–38.
6. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: МГУ, 1990. 325 с.
7. Перминова И.В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века // Химия и жизнь. 2008. № 1. С. 50–55.
8. Пукальчик М.А., Терехова В.А. Экоотоксикологическая оценка городских почв и детоксицирующего эффекта нанокпозиционного препарата // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2012. № 4. С. 26–31.
9. Терехова В.А. Реализация биотической концепции экологического контроля в почвенно-экологическом нормировании // Использование и охрана природных ресурсов России. 2012. № 4. С. 31–34.
10. Шубина Д.М., Якименко О.С., Пацаева С.В. и др. Спектральные свойства водных растворов промышленных гуминовых препаратов // Вода: химия и экология. 2010. № 2–3. С. 22–26.
11. Mynbayeva B.N., Makeeva A.Zh., Seidalina A.B. Potential applications for Perennial Ryegrass in phytoindication of urban soils // Russian Journal of Ecology, 2012, no. 3, pp. 261–263.
12. Shubina D., Fedoseeva E., Gorshkova O., Patsaeva S. et al. The “blue shift” of emission maximum and the fluorescence quantum yield as quantitative spectral characteristics of dissolved humic substances // EARSeL eProceedings, 2010, Vol. 9, no. 1, pp. 13–21. http://www.e proceedings.org /static/vol09_1/09_1_shubina1.html
13. Terekhova V.A. Soil bioassay: problems and approaches // Eurasian Soil Science, 2011, Vol. 44, no. 2, pp. 173–179.

REFERENCES

1. Izuchenie dinamiki ekotoksichnosti gorodskikh pochv metodami biotestirovaniya (na primere g. Sankt-Peterburga) [The study of the dynamics of ecotoxicity of urban soils by biotesting (on the example of St. Petersburg)]. In: *Tezisy dokladov Mezhdunar. konf. «Biodiagnostika v ekologicheskoi otsenke pochv i sopedel'nykh sred», 4–6 fevralya 2013 g.* Moscow, Binom [Abstracts of the Intern. Conf. "Biodiagnostics in the ecological assessment of soils and related media", 4–6 February 2013]. Bardina T.V., Chugunova M.V., Bakina L.G., Mayachkina N.V. Moscow, Binom Knowledge lab, 2013, pp. 18.
2. Gorshkova O.M., Patsaeva S.V., Fedoseeva E.V., et al. [Fluorescence of dissolved organic matter in natural water]. In: *Voda: Khimiya i ekologiya*, 2009, no. 11, pp. 31–39.
3. GOST 17.4.3.01-83 (SG SEV 3347-82). Obshchie trebovaniya k otboru prob [GOST 17.4.3.01-83 (SG CMEA 3347-82). General requirements for sampling]. Moscow, Gosstandart SSSR Publ., 1983. 57 p.
4. Gosteva O.Yu., Izosimov A.A., Patsaeva S.V., et al. [Fluorescence of aqueous solutions of industrial humic preparations]. In: *Zhurnal prikladnoi spektroskopii*, 2011, vol. 78, no. 6, pp. 943–950.
5. Milyukov A.S., Patsaeva S.V., Yuzhakov V.I., et al. [Fluorescence of nanoparticles of organic matter dissolved in natural water]. In: *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya*, 2007, no. 6, pp. 34–38.
6. Orlov D.S. Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii [Humic acids of soils and general theory of humification]. Moscow, MGU Publ., 1990. 325 p.
7. Perminova I.V. [Humic substances – a challenge to chemists of the XXI century]. In: *Khimiya i zhizn'*, 2008, no. 1, pp. 50–55.
8. Pukal'chik M.A., Terekhova V.A. [Ecotoxicological evaluation of urban soils and detoksiruouschee effect of nanocomposite preparation]. In: *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*, 2012, no. 4, pp. 26–31.
9. Terekhova V.A. [Implementation of the biotic concept of environmental control in soil and environmental regulation]. In: *Ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov Rossii*, 2012, no. 4, pp. 31–34.
10. Shubina D.M., Yakimenko O.S., Patsaeva S.V., et al. [Spectral properties of aqueous solutions of industrial humic preparations]. In: *Voda: khimiya i ekologiya*, 2010, no. 2–3, pp. 22–26.
11. Mynbayeva B.N., Makeeva A.Zh., Seidalina A.B. Potential applications for Perennial Ryegrass in phytoindication of urban soils. In: *Russian Journal of Ecology*, 2012, no. 3, pp. 261–263.
12. Shubina D., Fedoseeva E., Gorshkova O., Patsaeva S. et al. The “blue shift” of emission maximum and the fluorescence quantum yield as quantitative spectral characteristics of dissolved humic substances. In: *EARSeL eProceedings*, 2010, vol. 9, no. 1, pp. 13–21. Available at: http://www.e proceedings.org /static/vol09_1/09_1_shubina1.html.
13. Terekhova V.A. Soil bioassay: problems and approaches. In: *Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 44, no. 2, pp. 173–179.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи приносят искреннюю благодарность ученым Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова: доктору биологических наук, профессору Тереховой В.А. (факультет почвоведения), кандидату физико-математических наук, старшему научному сотруднику Пацаевой С.В. (физический факультет) и молодым сотрудникам МГУ Хунджуа Д.А. и Акуловой М.И. за оказанную помощь в проведении анализов.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors express their sincere gratitude to Doctor of Biological Sciences, Professor V.A. Terekhova (Faculty of Soil Science, M.V. Lomonosov Moscow State University), PhD in Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher S.V. Patsaeva (Faculty of Physics, M.V. Lomonosov Moscow State University) and young scientists D.A. Khunzhua and M.I. Akulova (M.V. Lomonosov Moscow State University) for assistance in conducting analysis.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мынбаева Бахыт Насыровна – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры ботаники и общей биологии Института естествознания и географии Казахского национального педагогического университета имени Абая;
e-mail: bmynbayeva@gmail.com

Анарбекова Гулшат Джумабаевна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор КазНАУ, Казахского национального аграрного университета;
e-mail: gulchi_09@mail.ru

Мусапиров Дастан Ауkenovich – магистр экологии, ассистент преподавателя кафедры экологии Казахского национального аграрного университета;
e-mail: dastan.musapirov@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bakhyt N. Mynbayeva – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Botany and General Biology of the Institute of Natural Science and Geography, Abai Kazakh National Pedagogical University;
e-mail: bmynbayeva@gmail.com

Gulshat Dz. Anarbekova – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology, Kazakh National Agrarian University;
e-mail: gulchi_09@mail.ru

Dastan A. Musapirov – Master of Ecology, Assistant Lecturer of the Department of Ecology, Kazakh National Agrarian University;
e-mail: dastan.musapirov@gmail.com

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Мынбаева Б.Н., Анарбекова Г.Ж., Мусапиров Д.А. Современные спектральные и биологические исследования в мониторинге городских почв // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2018. № 3. С. 99–109.
DOI: 10.18384/2310-7189-2018-3-99-109

FOR CITATION

Mynbayeva B.N., Anarbekova G.Zh., Musapirov D.A. Modern Spectral and Biological Research in Monitoring of Urban Soils. In: *Bulletin of the Moscow State Regional University, Series: Natural Sciences*, 2018, no 2, pp. 99–109.
DOI: 10.18384/2310-7189-2018-3-99-109