

УДК 504.064.2:631.41(574)

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕХНОГЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА

Артамонова Е.Н., Евлампиева Е.П., Касымова Ж.С.

*Государственный университет имени Шакарима, Семей,  
e-mail: artlena2008@mail.ru*

Получены данные об уровне накопления тяжелых металлов в почвах промышленно-урбанизированных территорий северо-востока Казахстана. Почвы городов Усть-Каменогорск, Павлодар и Семей сходны по физико-химическим свойствам, характеризуются от близкой к нейтральной до щелочной реакцией среды, низким содержанием органического вещества, высокими показателями элементов питания растений, значительной емкостью поглощения, что создает предпосылки для закрепления накопленных в них металлов, поступающих на поверхность с техногенными выбросами. Загрязнение почв городов носит полиэлементный характер и распределяется по их территории мозаично, образуя очаги в зависимости от источников выбросов. Уровень валового содержания и форм соединений химических элементов в почвах различных зон города неодинаков. Почвы промышленно перегруженных зон имеют высокие степени загрязнения, а в зонах с отсутствием промышленных источников загрязнения – допустимый уровень загрязнения. Исследуемые почвы характеризуются кадмиево-свинцовой геохимической специализацией.

**Ключевые слова:** почва, промышленные зоны, урбанизированные территории, техногенное загрязнение, тяжелые металлы

## ECOGEOCHEMICAL EVALUATION OF SOIL SURFACE OF TECHNOGENIC AREAS OF THE NORTHEAST KAZAKHSTAN

Artamonova E.N., Eevlampieva E.P., Kasymova Z.S.

*Shakarim State University of Semey, Semey, e-mail: artlena2008@mail.ru*

The results were obtained about the level of heavy metals accumulation in soils of industrial and urbanized areas of the Northeast Kazakhstan. Soils of Ust-Kamenogorsk, Pavlodar and Semey cities are similar in physical and chemical properties and characterized by close from neutral to alkaline pH, low content of organic matter, high index of plant nutrients, large absorption capacity, which creates prerequisites for securing accumulated in their metals coming to the surface with technogenic emissions. Pollution of urban cities has multi-element character and distributed on their territory mosaic, forming pockets, depending on the sources of emissions. Level of gross contents and forms of chemical compounds in soils of different zones of the city are not the same. Soils of industrial overloaded zones have a high degree of pollution and in areas with the absence of industrial pollution sources the level of pollution is permissible. The studied soils are characterized by cadmium-lead geochemical specialization.

**Keywords:** soil, industrial zones, urbanized areas, industrial pollution, heavy metals

В настоящее время загрязнение окружающей среды ксенобиотиками, в том числе тяжелыми металлами (ТМ), ведет к появлению техногенных пустынь, избыточному поступлению ТМ в пищевую цепь, к болезням и гибели живых организмов, в том числе человека.

В северо-восточном Казахстане, одном из наиболее индустриально развитых регионов страны, имеет место высокая концентрация промышленных источников поступления ТМ в окружающую среду (предприятия цветной металлургии, горнодобывающие, химические, атомные, нефтепереработки, энергетики и др.), скопилось огромное количество промышленных отходов и обширно загрязнение земель ТМ.

Наряду с антропогенным влиянием огромный вклад в загрязнение региона вносит природная составляющая. Недра Восточного Казахстана богаты полезными ископаемыми, главные из них – многокомпонентные полиметаллические руды. На территории области сосредоточено 24% ба-

лансовых запасов Pb, 41% Zn, 45% Cu от общереспубликанских запасов. Балансовые запасы цветных металлов сосредоточены в 25 месторождениях [6].

Для улучшения сложившегося положения, как и на загрязненных территориях других стран мира, актуальна комплексная оценка валового содержания и подвижных форм ТМ в почвах.

**Цель исследования:** дать комплексную эколого-геохимическую оценку состояния почвенного покрова промышленных зон и урбанизированных территорий северо-востока Казахстана (аспект: тяжелые металлы).

**Объект исследования:** техногенные территории северо-востока Казахстана.

### Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели в 2012 г. были отобраны пробы почвы в г. Усть-Каменогорск с 69 пробных площадок, в пределах г. Павлодар – с 441, в г. Семей – с 11 площадок. Пробоотбор почв охватывал все имеющиеся типы городских зон: промышленные, жилые, рекреационные. Пробы почв отбирались с верхнего гумусового горизонта как

наиболее подверженные загрязнению ТМ. Отбор и определение физико-химических свойств почв осуществлялись в соответствии с ГОСТами и общепринятыми методами [1, 2].

Из элементов группы ТМ для исследования были выбраны четыре – Cu, Zn, Cd, Pb, в связи с тем, что почвенный покров исследуемых промышленных регионов в основном тяготеет к техногенным площадкам цветной металлургии. Кроме того, для почв Усть-Каменогорского и Иртышского промышленных узлов установлена кадмиево-свинцовая геохимическая аномалия [3].

Анализ содержания ТМ в почвенных образцах проводили на базе научной биогеохимической лаборатории кафедры экологии и защиты окружающей среды Государственного университета имени Шакарима г. Семей. Были исследованы валовое содержание и подвижные формы ТМ: кислоторастворимая (экстрагент 1 н. HCl), обменная (ацетатно-аммонийный буфер  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  с pH = 4,8) и водорастворимая (бидистиллированная вода). Содержание ТМ определяли фотоколориметрическим химическим дитизиновым методом Г.Я. Ринькиса [4], основанным на измерении оптической плотности окрашенного экстракта при помощи спектрофотометра СФ-2000-01. Чувствительность метода – 0,01 мкг/мл, стандартное отклонение –  $\pm 4,6\%$ . Определение проводили в трехкратной повторности.

Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась с использованием программы Microsoft Excel. Достоверность полученных результатов оценивали при помощи t-критерия Стьюдента.

Эколого-геохимическое состояние почв исследуемого региона охарактеризовано коэффициентом концентрации (Кс), коэффициентом опасности (Ко) и кларком концентрации (Кк). Данные коэффициенты отражают увеличение содержания химических элементов в исследуемой почве в сравнении с фоном, ПДК и кларком в земной коре соответственно.

### Результаты исследования и их обсуждение

#### *Физико-химические свойства почв городов Усть-Каменогорск, Павлодар и Семей*

Согласно приведенным в табл. 1 данным, значительных отличий между почвами городов не наблюдается. Следует отметить, что в результате антропогенной деятельности свойства почв претерпели значительные изменения. Профиль почв нарушен настолько, что их свойства изменены, а отнесение изученных почв к светло- и темно-каштановым правомерно лишь по генезису.

**Таблица 1**

Физико-химические свойства почв городов Усть-Каменогорск, Павлодар, Семей

Место отбора	pH	Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г	С орг. %	$\text{P}_2\text{O}_5$ , мг/100 г	$\text{K}_2\text{O}$ , мг/100 г	Азот гидролизуемый, мг/100 г	Содержание карбонатов, %	Физическая глина, %	Полуторные оксиды, %	ЕКО, мг-экв./100 г
г. Усть-Каменогорск	5,7–8,4	17,0–36,8	1,8–2,8	14,4–32,2	35,0–68,0	2,5–5,0	0,6–2,2	4,4–28,6	2,2–5,8	5,8–14,4
г. Павлодар	6,2–8,2	16,2–37,6	1,5–2,5	14,0–31,8	34,0–66,8	2,2–4,8	0,2–1,4	6,2–18,7	2,4–6,8	5,0–16,6
г. Семей	7,0–8,6	16,0–38,0	2,1–4,3	12,7–29,7	33,4–67,7	2,0–4,3	0,4–2,0	5,0–30,3	2,0–6,4	6,4–18,5

Основная часть почв (78,6%) характеризуется слабощелочной и щелочной реакцией, значения pH среды колеблются от 7,65 до 8,36, остальная часть почвенных проб (21,4%) имеет нейтральную и близкую к нейтральной реакцию среды, значения pH колеблются от 6,6 до 7,5. Изменение природных кислотно-щелочных свойств городских почв может иметь как положительные, так и отрицательные аспекты: с одной стороны, нейтральная и близкая к нейтральной реакции среды более благоприятны для роста и развития растений и в них контакты растений с ТМ менее опасны, а с другой – создают условия для аккумуляции ТМ, при этом металлы задерживаются в почве и не переходят в сопредельные среды.

В городских почвах состав и степень гумификации органического вещества не соответствует природным аналогам. Большая часть почв исследуемых городов характери-

зуется низкой степенью содержания органического вещества (42,9% случаев), что, однако, соответствует его уровню содержания в естественных почвах региона. На 32,1% площадок почвы характеризуются средним уровнем содержания органики, а на 10,7% – повышенным и 14,3% – высоким содержанием, что связано с загрязнением верхних горизонтов почв, в основном приуроченных к автотрассам, органополимерами от автотранспорта, частицами сажи и пыли от битумно-асфальтных смесей.

Почвы характеризуются высоким содержанием элементов питания растений ( $\text{P}_2\text{O}_5$  – 32,2 мг/100 г почвы;  $\text{K}_2\text{O}$  – 68,0 мг/100 г почвы), что связано с периодическим внесением органических удобрений. Также вероятными причинами присутствия повышенных концентраций P и K в почвах города могут быть промышленное загрязнение, жизнедеятельность домашних животных,

а также миграция соединений элементов, входящих в состав строительного и бытового мусора. Выявленные в большинстве обследованных почв высокие концентрации Р и К не являются токсичными, однако способствуют нарушению баланса между макро- и микроэлементами.

Содержание гидролизуемого азота в почвах колеблется от  $20,0 \pm 0,25$  до  $50,0 \pm 0,35$  мг/кг почвы. На всех пробных площадях содержание нитратов больше, чем в естественной почве ( $6,42 \pm 0,33$  мг/кг). Антропогенные факторы нарушают естественные процессы биологической фиксации и миграции нитратов, повышая их количество. Предприятия теплоэнергетики и транспорт являются одним из основных источников антропогенного загрязнения городских почв легкогидролизующим азотом.

Почвы городских газонов характеризуются более значительной емкостью поглощения ( $38,0$  мг-экв/100 г почвы). В составе обменных катионов в них больше Са и Mg, присутствует в большем количестве (2–3 %) обменный Na.

Таким образом, физико-химические свойства антропогенных почв городов Усть-Каменогорск, Павлодар и Семей создают предпосылки для закрепления накопленных в них ТМ, поступающих на поверхность с выбросами автотранспорта и промышленных предприятий.

*Валовое содержание и содержание подвижных форм ТМ в почвах городов Усть-Каменогорск, Павлодар и Семей*

Валовое (общее) содержание ТМ свидетельствует о запасе этих элементов в городских почвах, который может быть как природного, так и техногенного происхождения. Однако в силу буферной способности почвы не является информативным показателем наличия реальной опасности загрязнения и обеспечивает первичную оценку состояния городской почвы.

Валовое содержание (мг/кг) Zn в почвах г. Усть-Каменогорск варьирует в пределах от 103 до 4506; Cd – от 0,27 до 29,73; Pb – от 22,07 до 1351,77; Cu – от 20 до 727,67 (табл. 2). Средняя концентрация металлов превышает фоновый уровень от 6,9 (для Cu) до 25 раз (для Cd).

**Таблица 2**

Валовое содержание ТМ в почвах городов северо-востока Казахстана, мг/кг

Элемент	$\bar{x} \pm S\bar{x}$			Фон	ПДК [6]	ПДК [7]
	Усть-Каменогорск (n = 350)	Павлодар (n = 441)	Семей (n = 200)			
Zn	$847,02 \pm 5,2$	$156,1 \pm 4,1$	$318,8 \pm 9,1$	42,4	300	–
Cd	$9,01 \pm 1,3$	$2,9 \pm 0,08$	$3,4 \pm 0,1$	0,36	3	0,5
Pb	$369,76 \pm 4,3$	$66,7 \pm 1,5$	$158,7 \pm 0,4$	15,7	100	32
Cu	$124,04 \pm 4,5$	$54,8 \pm 1,1$	$74,6 \pm 1,9$	17,9	100	–

Примечания:  $\bar{x} \pm S\bar{x}$  – среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение; n – количество проб.

Средний суммарный показатель загрязнения почв Zс всей территории города Усть-Каменогорск составляет 72,5 и характеризует опасный уровень загрязнения.

Загрязнение почвенного покрова исследуемых городов ТМ носит полиэлементный неравномерный характер, что отражает специфику разнопрофильных производств, их неодинаковую техногенную нагрузку, степень очистки выбросов и т.д. Валовое содержание приоритетных загрязнителей максимально в почвенном покрове северной и центральной (селитебной) зон города, что обусловлено нахождением там крупных промышленных предприятий, осуществляющих максимальное количество выбросов в городе («Казцинк», Ульбинский металлургический завод, Титано-магний завод, ТЭЦ и др.). Наименьшие концентрации металлов отмечены в южной зоне, что объясняется отсутствием предприятий и ба-

рьерными функциями р. Иртыш. В целом для почв города Усть-Каменогорск характерна кадмиево-свинцовая геохимическая специализация:  $Cd_{69,3}Pb_{23,1}Zn_{10,2}Cu_{2,6}$ .

Валовое содержание (мг/кг) Zn в почвах г. Павлодар варьирует в пределах от 43,2 до 547,8; Cd – от 0,36 до 9,33; Pb – от 17,9 до 199,6; Cu – от 18,4 до 150,2. Средняя концентрация металлов в почвах г. Павлодар в 1,2–22,3 раза выше их кларка в земной коре и в 2,7–6,7 раза – кларка в почве (табл. 2). В почвах города от 20 до 75 % проб, содержащих различные химические элементы, превышают ПДК. Наиболее приоритетным загрязнителем почв города является Cd. Средний суммарный показатель загрязнения почв Zс всей территории города Павлодар составляет 16,1 и характеризует умеренный уровень загрязнения.

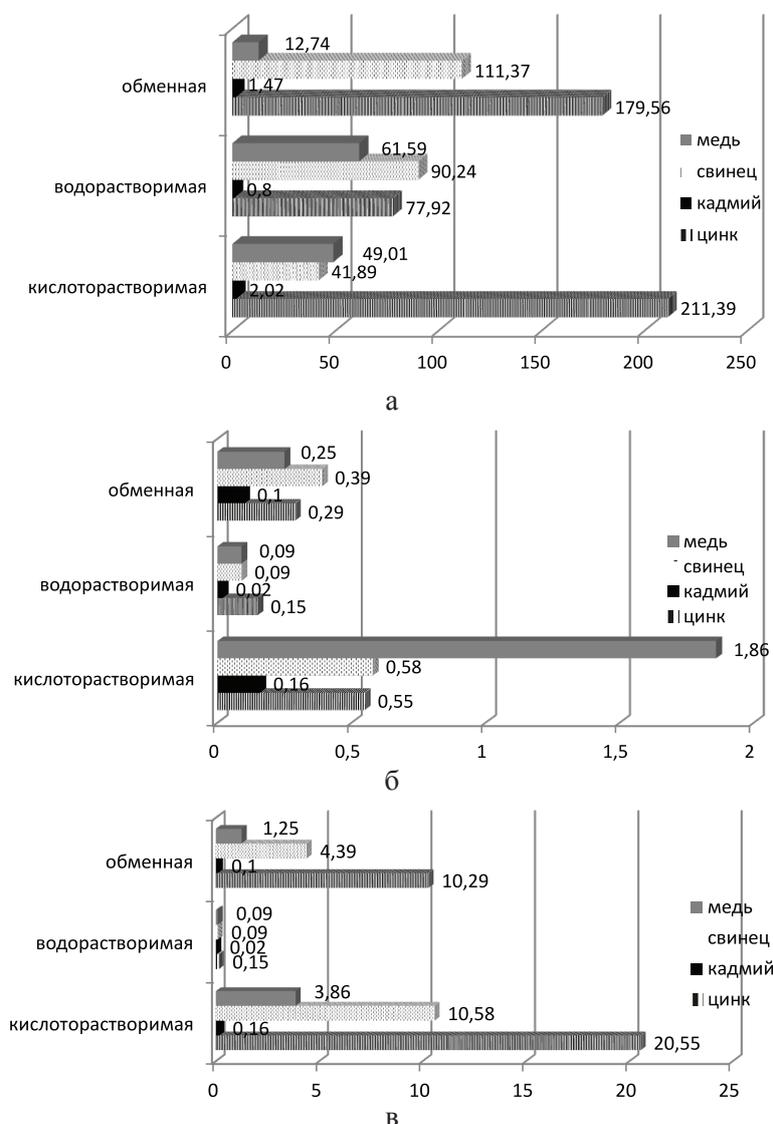
Наибольшие концентрации Zn, Cd, Pb, Cu в почвах характерны для восточной

промзоны. В данной зоне расположены алюминиевый завод и ТЭЦ, которыми выбрасывается до 90% от общего количества загрязняющих веществ в год. В северной промзоне в почвах максимально содержание Zn. На данной территории функционируют нефтеперерабатывающий, химический, тракторный заводы и 2 ТЭЦ. Наименьшие концентрации характерны для северного пригорода, что объясняется удаленностью промышленных предприятий. В среднем для почв г. Павлодар характерна кадмиево-свинцовая геохимическая специализация:  $Cd_{2,3}, Pb_{4,2}, Zn_{1,9}, Cu_{1,2}$ .

Почвы г. Семей сильно загрязнены излученными элементами. Содержание Zn колеблется в пределах 63,7–966,8; Cd – 0,5–12,6; Pb – 32,6–480,5; Cu – 28,8–281,3 мг/кг. Концентрации металлов (табл. 2) превышают их

фоновое содержание в аналогичных почвах: Kc Pb – 10,1; Cd – 9,4; Zn – 7,5; Cu – 4,2.

Наиболее контрастными по содержанию ТМ в почвах являются западный левобережный и северный ареалы вокруг крупных промышленных узлов; наименее – восточный, где практически отсутствуют промышленные предприятия, ТЭЦ, котельные. В большей степени техногенному воздействию подвергнуты почвы, расположенные в радиусе до 2,5–5,0 км от крупных предприятий и ТЭЦ города. В этих зонах 49% почв характеризуется превышающим не только фоновое, но и ПДК содержанием Zn, 75% – Pb, 18% – Cu, 32% – Cd. Суммарный показатель загрязнения почв Zс всей территории г. Семей – 35,3, что свидетельствует о средней степени загрязнения. Почвы города характеризуются кадмиево-свинцовой специализацией:  $Cd_{26,2}, Pb_{9,9}, Zn_{3,8}, Cu_{1,6}$ .



Содержание подвижных форм ТМ в почвах городов Усть-Каменогорск (а), Павлодар (б), Семей (в), мг/кг

В целом обнаружено превышение ПДК по Kloke [6] в почвах г. Усть-Каменогорск:  $Ko\ Cu - 1,2$ ;  $Zn - 2,8$ ;  $Cd - 3,0$ ;  $Pb - 3,7$  – и г. Семей:  $Pb - 1,6$ ;  $Zn$  и  $Cd - 1,1$ , а также казахстанских нормативов ПДК [7] валового содержания  $Cd$  от 5,8 (г. Семей) до 18 раз (г. Усть-Каменогорск) и  $Pb$  – в 2,1 (г. Семей) – 11,6 раза (г. Усть-Каменогорск).

Для оценки токсичности ТМ более правильным представляется использование сведений о содержании в почве подвижной формы ТМ, так как растительные организмы взаимодействуют лишь с мобильной частью элементов, присутствующих в почве. Доля мобильных соединений любого ТМ в разных почвах или в зоне деятельности различных предприятий при равенстве валового количества может оказаться существенно неодинаковой. В результате этого в пищевую цепь поступает разное количество избыточных ионов.

Содержание подвижных форм ТМ в почвах изученных городов представлено на рисунке.

По величине процента от валового содержания элементов в каждой из фракций для  $Zn$  и  $Cd$  независимо от типа почвы и территории городов можно построить следующий убывающий ряд: кислоторастворимая > обменная > водорастворимая. Аналогичная закономерность установлена для форм соединений  $Cu$  в почвах городов Павлодар и Семей. У  $Pb$  этот ряд выглядит иначе в почвах разных городов: обменная > водорастворимая > кислоторастворимая (г. Усть-Каменогорск); кислоторастворимая > обменная > водорастворимая (г. Павлодар) > обменная > кислоторастворимая > водорастворимая (г. Семей).

### Заключение

Почвы городов Усть-Каменогорск, Павлодар и Семей сходны по физико-химическим свойствам. В результате антропогенной деятельности свойства почв претерпели значительные изменения. Загрязнение почв городов носит полиэлементный характер и распределяется по их территории мозаично, образуя очаги в зависимости от источников выбросов. Исследуемые почвы городов характеризуются кадмиево-свинцовой геохимической специализацией, по суммарному показателю загрязнения располагаются в следующий ряд: Усть-Каменогорск ( $Z_c = 72,5$ ) > Семей ( $Z_c = 35,3$ ) > Павлодар ( $Z_c = 16,1$ ). ТМ в почвах г. Усть-Каменогорск превышают ПДК по Kloke в 1,2–3,7 раза, г. Семей – в 1,1–1,6 раза; казахстанские нормативы ПДК превышены в 2,1–18 раз.

### Список литературы

1. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
2. ГОСТ Р 53123-2008. Качество почвы. Отбор проб. Часть 5. Руководство по изучению городских и промышленных участков на предмет загрязнения почвы. – М.: Стандартинформ, 2009. – 28 с.
3. Панин М.С. Экология почв. – Алматы: Паритет, 2008. – 528 с.
4. Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Куницкая Т.А. Методы анализа почв и растений. – Рига: Зинатне, 1987. – 174 с.
5. Нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ, вредных микроорганизмов и других биологических веществ, загрязняющих почву: совместный приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 30.01.2004 г. № 99 и Министра охраны окружающей среды Республики Казахстан от 27.01.2004 г. № 21-п. – Астана, 2004. – 16 с.
6. Чермошенцева Е.В. Современное состояние инновационной деятельности в Восточно-Казахстанской области и перспектива ее развития // Банки Казахстана. – 2009. – № 11. – С. 40–43.
7. Kloke A. Richwerte'80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // Mitteilungen VDLUFA. – 1980. – № 1–3. – P. 9–11.

### References

1. *Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods of soil studies] / pod red. A.V. Sokolova. Moscow, Nauka, 1975. 656 p.
2. GOST R 53123-2008. Kachestvo pochvy. Otbor prob. Chast' 5. Rukovodstvo po izucheniju go-rodskih i promyshlennyh uchastkov na predmet zagryazneniya pochvy [Soil quality. Sampling. Part 5. Guidance on the procedure for the investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination]. Moscow, Standartinform, 2009. 28 p.
3. Panin M.S. Jekologija pochv [Ecology of soils]. Almaty, Paritet, 2008. 528 p.
4. Rin'kis G.Ja., Ramane H.K., Kunicaja T.A. Metody analiza pochv i rastenij [Methods of analysis of soil and plants]. Riga, Zinatne, 1987. 174 p.
5. Normativy predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshhestv, vrednyh mikroorganizmov i drugih biologicheskikh veshhestv, zagryaznjajushhih pochvu: sovместnyj prikaz Ministra zdravooohranenija Respubliki Kazahstan ot 30.01.2004 g. no. 99 i Ministra ohrany okružhajushhej sredy Respubliki Kazahstan ot 27.01.2004 g. no. 21-p. Astana, 2004. 16 p.
6. Chermoshenceva E.V. *Banki Kazahstana – Banks of Kazakhstan*, 2009, no. 11, pp. 40–43.
7. Kloke A. Richwerte'80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // Mitteilungen VDLUFA, 1980, no. 1–3, pp. 9–11.

### Рецензенты:

Панин М.С., д.б.н., профессор кафедры химии и географии, Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Государственный университет имени Шакарима города Семей» Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Семей;

Сатаева А.Р., д.б.н., доцент, и.о. профессора кафедры физической культуры и биологии, Учреждение образования «Казахский гуманитарно-юридический инновационный университет», г. Семей.

Работа поступила в редакцию 30.06.2014.