



УДК 631.41:614.76

КОНЦЕНТРАЦИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ НА ТЕРРИТОРИИ ТРОФИМОВСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (Саратовская область)



М. В. Решетников, Д. С. М. Маджид, С. Д. Шкодин, Н. Б. Юдин, А. И. Добролюбов

Решетников Михаил Владимирович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отделения геологии НИИ ЕН, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, rmv85@list.ru

Маджид Длер Салам Маджид, аспирант кафедры общей геологии и полезных ископаемых геологического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, dilersalam1989@gmail.com

Шкодин Сергей Дмитриевич, бакалавр геологии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, sergei.schkodin@mail.ru

Юдин Никита Борисович, бакалавр геологии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, nikita-yudin1996@yandex.ru

Алексей Игоревич Добролюбов, аспирант кафедры геоэкологии и инженерной геологии, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., dobrolubovanv@mail.ru

Исследован почвенный покров на территории Трофимовского нефтяного месторождения, расположенного в пределах города Саратова. По результатам анализа концентраций подвижных форм тяжелых металлов выполнена оценка современного санитарно-гигиенического и эколого-геохимического состояния почв. Обнаружена значимая корреляционная взаимосвязь между различными металлами. Установлено превышение предельно допустимых концентраций по никелю, меди.

Ключевые слова: почва, загрязнение, тяжелые металлы, Трофимовское нефтяное месторождение.

Concentration of Mobile Forms of Heavy Metals in Soils in the Territory of Trophimovsk Oil Field (Saratov Region)

**M. V. Reshetnikov, D. S. M. Majeed, S. D. Shkodin,
N. B. Iudin, A. I. Dobrolubov**

Mikhail V. Reshetnikov, <https://orcid.org/0000-0001-8298-029X>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, rmv85@list.ru

Dler S. M. Majeed, <https://orcid.org/0000-0001-5323-1222>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, dilersalam1989@gmail.com

Sergei D. Shkodin, <https://orcid.org/0000-0003-4652-7556>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, sergei.schkodin@mail.ru

Nikita B. Iudin, <https://orcid.org/0000-0002-8330-0249>, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, nikita-yudin1996@yandex.ru

Aleksey I. Dobrolubov, <https://orcid.org/0000-0002-7794-9471>, Sara-

tov State Technical University, 77, Politechnicheskaya Str., Saratov, 410054, Russia, dobrolubovanv@mail.ru

The soil cover on the territory of the Trofimov oil field located within the city of Saratov has been studied. Based on the results of analysis of concentrations of mobile forms of heavy metals, an assessment of the modern sanitary-hygienic and ecological-geochemical state of soils was performed. Significant correlations between different metals have been found. An excess of the maximum permissible concentrations for nickel and copper has been established.

Key words: soil, pollution, heavy metals, Trofimov oil field.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-4-278-282>

Введение. Эколого-геохимическое состояние почв является важным показателем качества окружающей среды. Антропогенное воздействие человека на окружающую среду наносит ущерб различным компонентам окружающей среды и в большей мере депонирующим средам, таким как почвенный покров и донные отложения. Особое внимание стоит уделить изучению загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами, а именно их подвижным формам. Подвижные формы тяжелых металлов легко усваиваются растениями и тем самым легко включаются в трофические цепи [1, 2].

Административно исследуемый участок расположен на территории Саратовского района Саратовской области, в Кировском и Волжском районах г. Саратова. В пределах исследуемого участка развита сеть грунтовых и улучшенных дорог, проходит автомагистраль Саратов–Энгельс. Географически исследуемая площадь расположена в прибрежной части правого берега р. Волга, представляющей собой холмистую равнину, расчлененную оврагами и балками.

Трофимовское месторождение находится по соседству с разрабатываемыми месторождениями Гусельским, Соколовогорским, Атамановским, Елшанско-Курдюмским, где нефтегазоносность установлена в отложениях среднего девона и нижнего карбона.

Целью работы является оценка эколого-геохимического состояния почвенного покрова (по уровню концентраций подвижных форм тяжелых металлов в почвенном покрове) на территории Трофимовского нефтяного месторождения. Для достижения поставленной цели мы использовали следующие общепринятые методики проведения исследований.

Методики проведения исследований. Отбор и подготовка проб велись в соответствии



с ГОСТ 17.4.4.02–84. Точки отбора проб размещались с учётом розы ветров, особенностей микрорельефа. В соответствии с требованиями ГОСТа опробованию подвергалась верхняя часть почвенного горизонта «А» до глубины 5 см, где обычно накапливается основная масса загрязнителей, выпадающих из атмосферы [3].

Размеры пробных площадок варьировали от 2–3 до 10 м². Отбор проб проводился методом конверта – одна проба в центре, четыре по углам площадки, по 2–3 пробы вокруг вершин конверта. Вес объединённой пробы варьировал в пределах 0,5–1 кг [3].

Определение тяжелых металлов в почве проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией на спектрофотометре «Квант-2АТ». Подвижные кислоторастворимые формы металлов (Cu, Zn, Ni, Cd, Pb) определялись в вытяжках 1М HNO₃. В последние годы эти экстрагенты успешно используют для анализов почв, подверженных техногенным воздействиям. Из сильно загрязнённых почв 1М HNO₃ извлекают 90–95% тяжелых металлов от их валового содержания. Отношение почвы к раствору 1:10, для торфяных почв – 1:20 [4].

Пробу почвы массой 5 г (для торфяных почв 2,5 г) взвешивают с точностью +/- 0,1 г и помещают в коническую колбу вместимостью 200–300 см³, к пробе добавляют 50 см³ 1М HNO₃. Навеску почвы необходимо увеличить до 10 г при определении тяжелых металлов на фоновом уровне. При этом соотношение почвы и раствора остается неизменным [4].

Взбалтывают суспензию на ротаторе в течение 1 ч или после 3-минутного встряхивания настаивают в течение суток. Колбу закрывают пробкой. Вытяжку фильтруют через сухой складчатый фильтр «белая лента», предварительно промытый 1М HNO₃. Перед фильтрованием вытяжка перемешивается и переносится на фильтр по возможности полностью. В фильтрате определяют тяжелые металлы на атомно-абсорбционном спектрофотометре в пламени ацетилен-воздух. Если фильтраты мутные, их возвращают на фильтры. Одновременно проводят холостой анализ, включая все стадии его определения, кроме взятия проб [4].

Для определения экологически опасного уровня концентрации тяжелых металлов в почвенном покрове выполнено сравнение фактической концентрации каждого тяжелого металла с его фоновым значением, выраженное через коэффициент концентрации K_c , рассчитанный по формуле

$$K_c = C_i / C_{\text{ф}},$$

где C_i – содержание формы тяжелого металла в образце, мг/кг; $C_{\text{ф}}$ – фоновая концентрация формы ТМ, мг/кг.

Дополнительно было выполнено сравнение фактической концентрации каждого тяжелого

металла с его фоновым значением предельно допустимой концентрации (ПДК), выраженное через коэффициент опасности K_o , рассчитанный по формуле

$$K_o = C_i / \text{ПДК},$$

где C_i – содержание формы тяжелого металла в образце [мг/кг]; ПДК – предельно допустимая концентрация формы ТМ [мг/кг]

Для оценки степени геохимической трансформации почвенного покрова подвижными формами тяжелых металлов был определен суммарный коэффициент загрязнённости Z_c по формуле

$$Z_c = \sum K_{c_n} - (n - 1),$$

где Z_c – суммарный коэффициент загрязнённости ТМ в пробе; n – количество определяемых элементов; K_c – коэффициенты концентрации определяемых в пробе тяжелых металлов.

Результаты исследований. На территории Трофимовского нефтяного месторождения было отобрано 23 пробы почв. Во всех пробах определена концентрация подвижных форм меди, цинка, свинца, кадмия, хрома и никеля (табл. 1). Ниже приводятся краткие результаты аналитических исследований.

Подвижные формы хрома определены во всех пробах в концентрации от 1,55 до 3,07 мг/кг, со средним содержанием 2,46 мг/кг и при ПДК 6,0 мг/кг [5]. Превышение над ПДК не зафиксировано.

Подвижные формы цинка зафиксированы во всех пробах в концентрации от 4,49 до 27,58 мг/кг со средним содержанием 8,62 мг/кг и при ПДК 23,0 мг/кг [6]. Превышение над ПДК не зафиксировано.

Кадмий в подвижной форме обнаружен во всех пробах в концентрации от 0 до 0,05 мг/кг, со средним содержанием 0,01 мг/кг и при ПДК 0,5 мг/кг [7]. Коэффициент опасности изменяется в пределах от 0 до 0,09 со средним значением 0,02. Превышение над ПДК не зафиксировано.

Подвижные формы никеля зафиксированы во всех пробах в концентрации от 4,12 до 7,44 мг/кг со средним содержанием 5,92 мг/кг и при ПДК 4,0 мг/кг [5]. Коэффициент опасности изменяется в пределах от 1,03 до 1,86 со средним значением 1,48. Превышение над ПДК зафиксировано во всех пробах, максимальное превышение в пробе 18 (1,86 ПДК).

Свинец в подвижной форме обнаружен во всех пробах в концентрации от 1,92 до 2,93 мг/кг со средним содержанием 2,28 мг/кг и при ПДК 6,0 мг/кг [5]. Коэффициент опасности изменяется в пределах от 0,32 до 0,49 со средним значением 0,41. Превышение ПДК не зафиксировано.

Подвижные формы меди зафиксированы во всех пробах в концентрации от 2,09 до 4,14 мг/кг со средним содержанием 3,12 мг/кг и при ПДК 3,0 мг/кг [4]. Коэффициент опасности изменяется



Таблица 1

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах на территории Трофимовского нефтяного месторождения, мг/кг

Номер пробы	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
1	4,12	2,75	0,011	1,95	2,08	5,49
2	4,52	3,10	0,006	2,53	2,24	6,59
3	6,42	3,23	0,013	2,60	2,17	6,27
4	5,85	2,82	0,004	2,52	1,98	5,63
5	6,15	3,06	0,006	2,66	2,32	6,82
6	5,72	2,09	–	2,08	1,99	4,99
7	6,21	3,50	0,010	2,41	2,34	27,58
8	6,56	3,33	0,013	2,63	2,93	9,01
9	4,33	2,33	0,014	1,55	1,92	5,00
10	5,98	3,03	0,010	2,49	2,30	7,72
11	7,04	3,31	0,012	2,60	2,59	8,00
12	6,48	3,05	0,011	2,44	2,37	6,87
13	6,82	3,32	0,003	3,07	2,45	7,14
14	5,99	2,92	0,009	2,57	2,36	10,13
15	6,24	3,11	0,006	2,67	2,33	8,76
16	5,33	2,77	0,013	2,23	1,99	7,19
17	5,78	3,24	0,012	2,50	2,15	8,06
18	7,44	4,14	0,046	2,95	2,86	10,53
19	6,21	3,68	0,017	2,37	2,30	15,96
20	6,41	3,58	0,014	2,49	2,35	7,21
21	5,71	3,25	0,017	2,37	2,26	8,02
22	5,15	3,21	0,011	2,48	2,15	8,79
23	5,78	2,90	0,008	2,33	2,00	6,45
ПДК	4	3	0,5–1*	6	6	23

*Норматив ПДК для подвижных форм кадмия не установлен. Приводится по: [8–11].

в пределах от 0,7 до 1,38 со средним значением 1,04. Превышение над ПДК зафиксировано в пробах 2, 3, 5, 7, 8, 10–13, 15, 17–22, максимальное превышение обнаружено в пробе 18 (4,14 ПДК).

Геохимический ряд для подвижных форм тяжелых металлов на территории Трофимовского нефтяного месторождения выглядит следующим образом: Zn>Ni>Cu>Cr>Pb>Cd (по средней концентрации) и Ni>Cu>Cr>Pb> Zn>Cd (по превышению над нормативными показателями).

При анализе полученных лабораторных исследований видно, что определяемые элементы можно разделить на две группы: первая – никель и медь, в этой группе в пробах зафиксировано превышение над ПДК; вторая – хром, цинк, кадмий и свинец, в этой группе не зафиксировано превышений над ПДК.

Расчет суммарного коэффициента загрязнения показал нам следующую картину: на исследуемой территории Z_c изменяется в пределах от –1,06 до 5,86 при среднем значении 1,15 (табл. 2). К категории с допустимым уровнем загрязнения (Z_c от 0 до 16) относятся все 23 пробы (100%).

Для выявления возможных парагенетических ассоциаций элементов нами был проведен корреляционный анализ аналитических данных, который представлен в табл. 3.

Значимая корреляционная взаимосвязь выделена в табл. 3 жирным шрифтом.

Результаты корреляционного анализа указывают на наличие в большинстве случаев сильных корреляционных связей (значение r от $\pm 0,7$ до $\pm 1,0$), это характерно для таких ассоциаций, как Cr–Ni, Ni–Pb, Cu–Pb. Средняя корреляционная взаимосвязь (значение r от $\pm 0,3$ до $\pm 0,699$) характерна для пар: Ni–Cu, Ni–Cd, Cu–Zn, Cu–Cd, Cu–Cr. Слабая корреляционная взаимосвязь (значение r от 0 до $\pm 0,299$) отмечается в парах Ni–Zn, Cd–Cr, Cd–Zn, Cr–Zn.

Проанализировав полученные результаты эколого-геохимических исследований, можно сделать несколько основных выводов.

Согласно данным корреляционного анализа на территории Трофимовского нефтяного месторождения соединения подвижных форм тяжелых металлов образуют в большинстве случаев пара-



Таблица 2

Значения коэффициента концентрации подвижных форм тяжелых металлов в почвах на территории Трофимовского нефтяного месторождения, мг/кг

Номер пробы	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn	Zc
1	0,70	0,88	1,08	0,79	0,91	0,64	0,00
2	0,76	0,99	0,56	1,03	0,98	0,76	0,09
3	1,08	1,04	1,26	1,06	0,95	0,73	1,12
4	0,99	0,90	0,37	1,02	0,87	0,65	-0,20
5	1,04	0,98	0,59	1,08	1,02	0,79	0,50
6	0,97	0,67	–	0,85	0,87	0,58	-1,06
7	1,05	1,12	0,98	0,98	1,03	3,20	3,36
8	1,11	1,07	1,33	1,07	1,28	1,05	1,90
9	0,73	0,75	1,38	0,63	0,84	0,58	-0,09
10	1,01	0,97	1,01	1,01	1,01	0,90	0,91
11	1,19	1,06	1,15	1,06	1,13	0,93	1,52
12	1,10	0,98	1,07	0,99	1,04	0,80	0,97
13	1,15	1,06	0,31	1,25	1,08	0,83	0,68
14	1,01	0,94	0,90	1,04	1,04	1,18	1,10
15	1,05	1,00	0,63	1,09	1,02	1,02	0,80
16	0,90	0,89	1,28	0,91	0,87	0,83	0,68
17	0,98	1,04	1,24	1,02	0,94	0,93	1,15
18	1,26	1,33	4,60	1,20	1,26	1,22	5,86
19	1,05	1,18	1,71	0,96	1,01	1,85	2,76
20	1,08	1,15	1,44	1,01	1,03	0,84	1,55
21	0,96	1,04	1,69	0,96	0,99	0,93	1,58
22	0,87	1,03	1,11	1,01	0,94	1,02	0,98
23	0,98	0,93	0,81	0,95	0,88	0,75	0,29

Таблица 3

Значения коэффициента корреляции между концентрацией подвижных форм тяжелых металлов в почвах на территории Трофимовского нефтяного месторождения

Элемент	Ni	Cu	Cd	Cr	Pb	Zn
Ni	1	0,63	0,34	0,75	0,71	0,26
Cu	–	1	0,61	0,68	0,71	0,48
Cd	–	–	1	0,11	0,47	0,14
Cr	–	–	–	1	0,66	0,14
Pb	–	–	–	–	1	0,27
Zn	–	–	–	–	–	1

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции.

генетические ассоциации с высоким коэффициентом корреляции, при этом превышения над ПДК незначительны. Таким образом, эти элементы имеют, скорее всего, единое минералогическое происхождение, унаследованное от материнских пород. Подтверждение этих предположений требует более детальных минералогических исследований, не рассматриваемых нами в данной статье.

Заклучение. Рассмотрение геохимических особенностей нахождения подвижных форм тяжелых металлов в почвах Трофимовского нефтяного

месторождения позволяет нам сделать несколько основных выводов.

1. В пределах исследуемой территории установлено повсеместное превышение предельно допустимых концентраций подвижных форм для никеля и меди. Это превышение, скорее всего, обусловлено антропогенным загрязнением.

2. Анализ корреляционной взаимосвязи выявил значимую корреляционную взаимосвязь практически между всеми элементами, что, вероятно, свидетельствует об их приурочен-



ности к одним и тем же минералогическим ассоциациям.

3. Выявленные геохимические аномалии содержания подвижных форм тяжелых металлов указывают на благоприятную эколого-геохимическую обстановку на территории Трофимовского нефтяного месторождения. Значения суммарного коэффициента загрязнения не превышают 16 единиц, что позволяет отнести исследуемые пробы к категории с допустимым загрязнением.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-77-10040).

Библиографический список

1. Алексеевко, В. А., Алексеевко, А. В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов н/Д, 2013. 380 с.
2. Решетников, М. В., Кузнецов, В. В., Шешнёв, А. С., Мамедов, Р. М. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов в почвах города Красный Кут (Саратовская область) // Экология урбанизированных территорий. 2016. Вып. 2. С. 70–75.
3. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа : межгосударственные стандарты. М., 2008. 8 с.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М., 1992. 62 с.
5. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве : Гигиенические нормативы. М., 2006. 15 с.
6. СанПиН 2.1.7.1287-03. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. Контроль. М., 2003. 11 с.
7. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Х. Чудджиян [и др.]. Братислава, 1988. Вып. 1. С. 5–24.
8. Потапов, А. Д., Сеньющенкова, И. М. Геохимические исследования городских овражно-балочных территорий (на примере г. Брянск) // Геоэкология. 2010. № 3. С. 213–222.
9. Васильев, А. А., Романова, А. В. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья. Пермь, 2014. 231 с.
10. Шигабаева, Г. Н. Оценка содержания различных форм тяжелых металлов в почвах Тюменского заказника // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. Т. 1, № 4. С. 115–122.
11. Байкалова, Т. В., Байкалов, П. С., Коротченко, И. С. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове, листьях березы под воздействием промышленности г. Красноярска // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5. С. 123–130.

Образец для цитирования:

Решетников М. В., Маджид Д. С. М., Шкодин С. Д., Юдин Н. Б., Добролюбов А. И. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов в почвах на территории Трофимовского нефтяного месторождения (Саратовская область) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 4. С. 278–282. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-4-278-282>

Cite this article as:

Reshetnikov M. V., Majeed D. S. M., Shkodin S. D., Iudin N. B., Dobrolubov A. I. Concentration of Mobile Forms of Heavy Metals in Soils in the Territory of Trophimovsk Oil Field (Saratov Region). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2018, vol. 18, iss. 4, pp. 278–282 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-4-278-282>