ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

И. Н. Семенков, А. В. Шараповаа, С.А. Ледневa, Т.В. Королеваa **Фракционный состав соединений марганца в верхнем 0–10 см почвенном слое зон воздействия террикона угольной шахты (среднерусская лесостепь) // Почвоведение.**

I. N. Semenkov, A. V. Sharapova, N. А. Yudina, S.А. Lednev, Т.V. Koroleva **''Fractionation of Manganese in the Topsoil (0–10 cm) Layer Effected by a Coal Waste Heap (Central Russian Forest-Steppe),'' Eurasian Soil Science**,

Таблица S 1. Эталоны сравнения, используемые для характеристики региональных геохимических особенностей изученных почв по содержанию Mn, мг/кг

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Эталон сравнения | Среднее содержание | Источник |
| Породы (F5) | Верхняя часть континентальной земной коры | 527–1000 | [Касимов, Власов, 2015] |
| Уголь ПУБ | 980 | [Бибиков и др., 1983; Николаев и др., 2020; Севостьянов и др., 1966] |
| Углевмещающие и углистые глины и алевролиты ПУБ  | 104–1857 |
| Черноземы | Среднерусская возвышенность | F1 | 5–140 | [Семенков и др., 2015, 2019; Шопина и др., 2019; Лукин, Жуйков, 2021] |
| F2 | 160 |
| F3 | 83–380 |
| F5 | 560–1880 |
| Зауралье | F1 | 61 | [Opekunova et al., 2020; Semenkov, Koroleva, 2019] |
| F2 | 240 |
| F3 | 290 |
| F5 | 750–1650 |

Примечание. Подвижные формы в мг/кг.

Использованная литература:

*Бибиков Ф.С., Решетов В.В., Марков Н.М., Евик Л.Г., Шанько Л.М.* и др. Отчет о комплексной геологической, гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:50000 для целей мелиорации на площади листов № -37-63-В, №-37-75-А, проведенной в 1980-1983 гг. (Тульская область). Тула: Производственное геологическое объединение центральных районов Подмосковная геологическая экспедиция. 1983. Том 2. Книга 6. С 3-46.

*Касимов Н.С., Власов Д.В.* Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. №2. С. 7 – 17.

*Лукин С.В., Жуйков Д.В.* Мониторинг содержания марганца, цинка и меди в почвах и растениях Центрально-Черноземного района России // Почвоведение. 2021. № 1. С. 60-69. https://doi.org/ 10.31857/S0032180X21010093

*Николаев А.А., Шарапов В.В., Степина Т.С., Львова Л.А., Егоров А.О.* и др. Геологический отчет о результатах работ по объекту «Выполнение геолого-съемочных работ в пределах листа N-37-XХI (Узловая)» в составе объекта ФГБУ «ВСЕГЕИ» «Проведение в 2018-2020 годах региональных геолого-съемочных работ масштаба 1:200 000 на группу листов в пределах Северо-Западного и Центрального ФО». М.: ВСЕГЕИ, 2020. Приложение 31. С 127.

*Севостьянов Ю.А., Масленникова В.П., Мулаков А.В., Севостьянова Л.М., Матюхин Н.В., Демидов В.Н.* // Отчет Богородицкой геологосъемочной партии Тульской КГРЭ о гидрогеологической съемке масштаба 1:200000 площади листа № -37-XXI/сопредельные районы Тульской, Рязанской и Липецкой областей/в период 1963-65 гг. Тула: Тульская комплексная геологоразведочная экспедиция. 1966. Том 4. С. 175-183.

*Семенков И.Н., Асеева Е.Н.., Терская Е.В.* [Геохимическая структура лесостепных катен балочного водосбора в бассейне р. Упа](https://istina.msu.ru/publications/article/4447453/) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 6. С. 68-75.

*Семенков И.Н., Касимов Н.С., Терская Е.В.* Радиальная геохимическая структура почв лесостепных суглинистых катен балочного водосбора в центре Среднерусской возвышенности // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2015. № 5. С. 42-53.

*Шопина О.В., Семенков И.Н., Парамонова Т.А.* Накопление тяжелых металлов и 137Cs в растительной продукции, выращиваемой на радиоактивно загрязненных черноземах Тульской области // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 6. С. 48-53 <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-48-53>.

*Opekunova M., Opekunov A., Somov V., Kukushkin S., Papyan E.* Transformation of metals migration and biogeochemical cycling under the influence of copper mining production (the Southern Urals) // C[atena](https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=43246937). 2020. V. 189. P. 104512. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104512

*Semenkov I.N., Koroleva T.V.* The spatial distribution of fractions and the total content of 24 chemical elements in soil catenas within a small gully's catchment area in the Trans Urals, Russia // Applied Geochemistry. 2019. V. 106. P.1-6. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.04.010

Таблица S 2. Характеристика техногенного наноса вскрышных пород техногенных поверхностных образований и гумусового горизонта черноземов изученного ключевого участка

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | Выборка | М | SD | Cv, % | N | Единицы измерения |
| Участок | Горизонт |
| 1000–500 | I. Террикон | X | <0.01 | – | – | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | 1.0 | 1.5 | 155 | 6 | % |
|  | [A] | <0.01 | – | – | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | 0.78 | 1.48 | 190 | 14 | % |
|  | [A] | <0.01 | – | – | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | <0.01 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | <0.01 | – | – | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | <0.01 | – | – | 9 | % |
| 500–250 | I. Террикон | X | <0.01 | – | – | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **4.8** | 3.2 | 66 | 6 | % |
|  | [A] | <0.01 | – | – | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | 3.8 | 5.5 | 147 | 14 | % |
|  | [A] | <0.01 | – | – | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | <0.01 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | <0.01 | – | – | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | <0.01 | – | – | 9 | % |
| 250–50 | I. Террикон | X | 4.5 | 2.1 | 48 | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **36** | 16 | 45 | 6 | % |
|  | [A] | 8.5 | 12.9 | 151 | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | 23 | 16 | 71 | 14 | % |
|  | [A] | 0.55 | 0.49 | 88 | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | <0.01 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | <0.01 | – | – | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | **0.02** | 0.03 | 300 | 9 | % |
| 50–10 | I. Террикон | X | 51 | 3 | 5 | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **27** | 6 | 21 | 6 | % |
|  | [A] | 44 | 6 | 14 | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | **38** | 11 | 28 | 14 | % |
|  | [A] | 45 | 4 | 8 | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | 41 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | 38 | 2 | 5 | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | **43** | 4 | 9 | 9 | % |
| 10–5 | I. Террикон | X | 14 | 1 | 8 | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **8.8** | 3.1 | 35 | 6 | % |
|  | [A] | 14 | 1 | 9 | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | 11 | 3 | 32 | 14 | % |
|  | [A] | 16 | 1 | 6 | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | 18 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | 18 | 0.5 | 3 | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | **18** | 1 | 7 | 9 | % |
| 5–1 | I. Террикон | X | 24 | 2 | 9 | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | 16 | 6 | 34 | 6 | % |
|  | [A] | 27 | 4 | 16 | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | 19 | 6 | 32 | 14 | % |
|  | [A] | 31 | 2 | 7 | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | 32 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | 35 | 1 | 2 | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | **32** | 3 | 8 | 32 | % |
| <1 | I. Террикон | X | 7.3 | 1.5 | 20 | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **4.6** | 1.4 | 32 | 6 | % |
|  | [A] | 7.3 | 1.4 | 19 | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | **5.1** | 1.7 | 33 | 14 | % |
|  | [A] | 7.8 | 0.9 | 12 | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | 8.8 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | 8.9 | 1.0 | 11 | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | 7.7 | 2.2 | 28 | 9 | % |
| <10 | I. Террикон | X | 45 | 4 | 8 | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **30** | 10 | 34 | 6 | % |
|  | [A] | 48 | 7 | 14 | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | 34 | 11 | 32 | 14 | % |
|  | [A] | 55 | 4 | 7 | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | 59 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | 62 | 2 | 3 | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | **57** | 4 | 7 | 9 | % |
| ЕС1:5 | I. Террикон | X | 1454 | 546 | 38 | 6 | мкС/см |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **565** | 503 | 89 | 6 | мкС/см |
|  | [A] | 670 | 405 | 60 | 3 | мкС/см |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | **330** | 225 | 68 | 14 | мкС/см |
|  | [A] | 484 | 536 | 111 | 14 | мкС/см |
|  | IV. Просадка | RX | 523 | – | – | 1 | мкС/см |
|  | [A] | 207 | 45 | 22 | 4 | мкС/см |
|  | V. Фон | AU | **28** | 15 | 56 | 9 | мкС/см |
| рН | I. Террикон | X | 4.1 | 0.6 | 15 | 6 | ед. рН |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | 3.7 | 0.9 | 25 | 6 | ед. рН |
|  | [A] | 4.2 | 0.4 | 8 | 3 | ед. рН |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | **5.0** | 0.5 | 9 | 14 | ед. рН |
|  | [A] | 5.6 | 0.9 | 16 | 14 | ед. рН |
|  | IV. Просадка | RX | 4.4 | – | – | 1 | ед. рН |
|  | [A] | 4.9 | 0.6 | 13 | 4 | ед. рН |
|  | V. Фон | AU | **6.5** | 0.3 | 5 | 9 | ед. рН |
| Сорг | I. Террикон | X | 9.3 | 7.5 | 80 | 6 | % |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | 8.6 | 3.9 | 46 | 6 | % |
|  | [A] | 5.2 | 4.2 | 81 | 3 | % |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | 7.3 | 3.1 | 42 | 14 | % |
|  | [A] | 4.7 | 2.8 | 60 | 14 | % |
|  | IV. Просадка | RX | 10.2 | – | – | 1 | % |
|  | [A] | 6.2 | 2.4 | 39 | 4 | % |
|  | V. Фон | AU | 4.1 | 2.1 | 53 | 7 | % |
| Ca2+ | I. Террикон | X | 1.08 | 0.42 | 39 | 6 | г/кг |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | 0.52 | 0.83 | 161 | 6 | г/кг |
|  | [A] | 0.80 | 0.65 | 82 | 3 | г/кг |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | **0.32** | 0.32 | 101 | 14 | г/кг |
|  | [A] | 0.56 | 0.71 | 126 | 14 | г/кг |
|  | IV. Просадка | RX | 0.34 | 0.00 | – | 1 | г/кг |
|  | [A] | 0.14 | 0.03 | 20 | 4 | г/кг |
|  | V. Фон | AU | **0.06** | 0.08 | 27 | 9 | г/кг |
| Mn (фракция F1) | I. Террикон | X | 0.74 | 0.85 | 114 | 6 | мг/кг |
| II. Шлейф незадернованный | RX | 0.66 | 0.82 | 124 | 3 | мг/кг |
| [A] | 17 | – | – | 1 | мг/кг |
| III. Шлейф задернованный | RX | **19** | 31 | 159 | 12 | мг/кг |
| [A] | 24 | 30 | 129 | 5 | мг/кг |
| IV. Просадка | RX | 8.9 | – | – | 1 | мг/кг |
| [A] | 77 | 102 | 133 | 2 | мг/кг |
| V. Фон | AU | **40** | 8 | 20 | 4 | мг/кг |
| Mn (фракция F2) | I. Террикон | X | 0.21 | 0.09 | 41 | 6 | мг/кг |
| II. Шлейф незадернованный | RX | 0.14 | 0.15 | 101 | 3 | мг/кг |
| [A] | 0.88 | – | – | 1 | мг/кг |
| III. Шлейф задернованный | RX | **33** | 57 | 172 | 12 | мг/кг |
| [A] | 108 | 137 | 126 | 5 | мг/кг |
| IV. Просадка | RX | 1.9 | – | – | 1 | мг/кг |
| [A] | 255 | 360 | 141 | 2 | мг/кг |
| V. Фон | AU | **267** | 57 | 21 | 4 | мг/кг |
| Mn (F3) | I. Террикон | X | 0.34 | 0.31 | 92 | 6 | мг/кг |
|  | II. Шлейф незадернованный | RX | **<0.1** | – | – | 3 | мг/кг |
|  | [A] | 2.0 | – | – | 1 | мг/кг |
|  | III. Шлейф задернованный | RX | **86** | 152 | 176 | 12 | мг/кг |
|  | [A] | 154 | 156 | 101 | 5 | мг/кг |
|  | IV. Просадка | RX | 32 | – | – | 1 | мг/кг |
|  | [A] | 257 | 327 | 127 | 2 | мг/кг |
|  | V. Фон | AU | **462** | 80 | 17 | 4 | мг/кг |
| Валовое содержание Mn | I. Террикон | X | 36 | 14 | 40 | 6 | % |
| II. Шлейф незадернованный | RX | 43 | 27 | 64 | 2 | % |
| [A] | 85 |  | – | 1 | % |
| III. Шлейф задернованный | RX | **188** | 275 | 275 | 11 | % |
| [A] | 409 | 281 | 281 | 6 | % |
| IV. Просадка | RX | 147 |  | – | 1 | % |
| [A] | 682 | 789 | 789 | 2 | % |
| V. Фон | AU | **746** | 26 | 26 | 4 | % |
| Подвижность Mn | I. Террикон | X | 3 | 1 | 41 | 6 | % |
| II. Шлейф незадернованный | RX | 2 | 1 | 23 | 2 | % |
| [A] | 23 | – | – | 1 | % |
| III. Шлейф задернованный | RX | **34** | 34 | 102 | 11 | % |
| [A] | 55 | 41 | 75 | 5 | % |
| IV. Просадка | RX | 29 | – | – | 1 | % |
| [A] | 59 | 48 | 82 | 2 | % |
| V. Фон | AU | 95 | 10 | 10 | 4 | % |
| S сульфатов | I. Террикон | X | 1478 | 595 | 40 | 6 | мг/кг |
| II. Шлейф незадернованный | RX | 685 | 1205 | 176 | 6 | мг/кг |
| [A] | 900 | 982 | 109 | 3 | мг/кг |
| III. Шлейф задернованный | RX | **268** | 256 | 96 | 14 | мг/кг |
| [A] | 649 | 921 | 142 | 14 | мг/кг |
| IV. Просадка | RX | 355 | – | – | 1 | мг/кг |
| [A] | 116 | 34 | 29 | 4 | мг/кг |
| V. Фон | AU | **24** | 34 | 105 | 9 | мг/кг |

Примечание. М – среднее, SD – стандартное отклонение, Cv – коэффициент вариации (%), ЕС1:5 – удельная электропроводность водной вытяжки. Полужирным выделены значимые отличия относительно токсилитострата (сравнение для всех выборок), красным – относительно фоновых черноземов (сравнение только с гор. [A]).



Рис. S1. Вид на обследованный террикон. На переднем плане – незадернованный делювиально-пролювиальный шлейф, поросший по бокам березняком