

# Целлюлозолитическая активность почв, содержащих каменный уголь, в Октябрьском районе г. Иркутска\*

## Cellulolytic activity of soils containing coal in the Oktyabr'skiy district of the Irkutsk

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-2-90-94>

### ШТЕЛЬМАХ С.И.

Канд. геол.-минер. наук,  
старший научный сотрудник,  
Институт земной коры СО РАН,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: fotina122@mail.ru

### ДАНИЛОВА М.В.

Ведущий инженер, Институт  
земной коры СО РАН,  
664033, г. Иркутск, Россия,  
e-mail: maridan@crust.irk.ru

В данной работе представлены результаты исследований целлюлозолитической активности (ЦА) почв, содержащих каменный уголь. Исследования ЦА почв основывались на применении аппликационного метода «cotton strip assay». Взаимодействие каменного угля с исследуемыми почвами в течение многих лет привело к их обогащению углеродом, серой и фосфором, а также к повышенным содержаниям цинка, хрома, меди и свинца в почвах. Рассматриваемые почвы характеризуются высокими средними валовыми концентрациями С(общ.) (25-30%), S(общ.) (4860-5730 мг/кг), превышающими предельно-допустимую концентрацию (ПДК) (160 мг/кг) в 30-36 раз для серы, а также Р (2766-3045 мг/кг), превосходящими его фоновую концентрацию в 1,4-1,5 раза. Выявлены превышения ПДК для средних валовых концентраций токсичных элементов от 1,7-1,8 раза для хрома до 4,6-5,1 раза для цинка. Кроме этого, в исследуемых почвах установлены высокие средние валовые концентрации мышьяка (12-13 мг/кг), превосходящие его ПДК в 6,0-6,5 раза. Несмотря на высокую степень загрязнения S(общ.), Cr, Cu, Zn, As и Pb, исследуемые почвы характеризуются высокими значениями ЦА. Развитию и активной деятельности микроорганизмов, разрушающих целлюлозу (целлюлозолитиков), способствуют значения pH исследуемых почв (6,4-6,6), соответствующие слабокислой среде, обогащение почв углеродом и фосфором, а также климатические условия.

**Ключевые слова:** целлюлозолитическая активность, почвы, каменный уголь, гранулометрический состав, суммарный показатель загрязнения.

**Для цитирования:** Штельмах С.И., Данилова М.В. Целлюлозолитическая активность почв, содержащих каменный уголь, в Октябрьском районе г. Иркутска // Уголь. 2026;(2):90-94. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-2-90-94.

### Abstract

The results of the investigation the cellulolytic activity (CA) of soils containing coal are presented in this paper. The CA studies of the soils were based on the application method "cotton strip assay". The interaction of coal with the studied soils over many years led to their enrichment by carbon, sulfur and phosphorus,

\* Исследование выполнено за счет гранта  
Российского научного фонда № 25-77-30006,  
<https://rscf.ru/project/25-77-30006/>.

as well as to increased contents of zinc, chromium, copper and lead in the soils. The considered soils are characterized by high average gross concentrations of  $C_{(total)}$  (25-30%),  $S_{(total)}$  (4860-5730 mg/kg), exceeding the maximum permissible concentration (MPC) (160 mg/kg) by 30-36 times for sulfur, as well as P (2766-3045 mg/kg), exceeding its background concentration by 1.4-1.5 times. The average gross concentrations of toxic elements exceed their MPC from 1.7-1.8 times for chromium and to 4.6-5.1 times for zinc. In addition, high average gross concentrations of arsenic (12-13 mg/kg) were found in the studied soils, exceeding its MPC by 6.0-6.5 times. Despite the high degree of pollution by  $S_{(total)}$  Cr, Cu, Zn, As and Pb, the studied soils are characterized by high values of CA. The pH values of the studied soils (6.4-6.6), corresponding to a slightly acidic environment, enrichment of the soils by carbon and phosphorus, as well as climatic conditions facilitate the development and intense activity of cellulose-decomposing microorganisms.

#### Keywords

Cellulolytic activity, soils, coal, granulometric composition, total pollution index.

#### Acknowledgements

The research was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-77-30006, <https://rscf.ru/project/25-77-30006/>.

#### For citation

Shtel'makh S.I., Danilova M.V. Cellulolytic activity of soils containing coal in the Oktyabr'skiy district of the Irkutsk. *Ugol'*. 2026;(2):90-94. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-2-90-94.

## ВВЕДЕНИЕ

Угольная промышленность способна приводить к разрушению земель и деградации экосистем, а также к загрязнению почв тяжелыми металлами и органическими поллютантами [1]. Загрязнение почв происходит как в районах добычи угля, так и в районах его переработки, а также в местах его транспортировки, складирования, сортировки и хранения.

Ремедиация является одним из наиболее распространенных методов уменьшения степени загрязнения почв, но физические и химические методы являются недостаточно эффективными [1] в отличие от биоремедиации, при которой процесс восстановления загрязненных почв происходит при использовании микроорганизмов, которые используют загрязняющие вещества в качестве источников своего питания и преобразуют поллютанты в безопасные соединения [1, 2, 3]. В работе [1] показано, что микробиом почв угольных отвалов является очень эффективным в биоремедиации участков, загрязненных тяжелыми металлами и полициклическими углеводородами. В биоремедиации среди многочисленных штаммов микроорганизмов используют и целлюлозоразрушающие микроорганизмы (целлюлозолитики) [1, 4], например такие, как бактерии рода *Bacillus*, обладающие способностью активно расщеплять различные производные целлюлозы [5].

От численности целлюлозолитиков в почвах в большей степени зависит целлюлозолитическая активность (ЦА) почв [6, 7]. ЦА почв – один из показателей их биологической активности и плодородия [6], характеризующий способность почв к разрушению растительных остатков. С ростом ЦА в почвах происходит увеличение скорости разложения корневых и наземных частей растений, в результате этого освобождаются необходимые для растений элементы питания [8, 9]. К дополнительным факторам, от которых зависит ЦА почв, относятся климатические условия [6, 10], тип почв [6], степень их загрязнения [10, 11], гранулометрический состав [12], pH почв и наличие почвенного органического вещества [13], а также обогащение почв фосфором [14]. На сегодняшний день очень мало проводится углубленных исследований микробных сообществ в период рекультивации нарушенных земель после добычи угля [1, 15], при этом отсутствуют данные о ЦА почв, содержащих каменный уголь, для многих регионов России.

Цель данной работы – определение ЦА почв, в которых каменный уголь присутствует на протяжении нескольких десятков лет, в селитебной зоне Октябрьского района г. Иркутска.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ДИСКУССИЯ

Каменный уголь месторождений Иркутской области в результате его разгрузки и сортировки был внесен в исследуемые почвы несколько десятилетий назад. В летний период 2024 г. образцы рассматриваемых почв отбирались с глубин 0-10 см и 10-20 см, часть из них использовалась для отбора фракций угля с частицами размером <10 мм (1-3 и 4-10 мм), а фракции угля с частицами размером >10 мм (13-25, 25-50 и 50-100 мм) отбирались с поверхности почв (0-2 см).

По результатам гранулометрического анализа, проведенного методом пипетки в модификации Н.А. Качинского, основанного на скорости падения частиц разного размера в воде [16], эти почвы являются легкосуглинистыми [17], содержание фракций физической глины (частиц с размерами < 0,01 мм) составили 20-22% в них.

Значение pH водной вытяжки исследуемых почв, содержащих каменный уголь, определено потенциометрическим методом с использованием иономера ЭВ-74 и составляет 6,4-6,6 (слабокислая среда, близкая к нейтральной). Слабокислая среда способствует увеличению ЦА почв [13]. Химический состав рассматриваемых почв и фракций каменного угля (1-3, 4-10, 13-25, 25-50 и 50-100 мм) определен рентгенофлуоресцентным методом (РФА) с помощью спектрометра S8 TIGER (Брукер, Германия) [18, 19, 20].

Взаимодействие каменного угля с исследуемыми почвами в течение многих лет привело к их обогащению углеродом и серой, а также к повышенному содержанию фосфора, цинка, хрома, меди и свинца в почвах. Концентрация серы варьируется от 0,85 до 1,29% во фракциях каменного угля с частицами размером < 10 мм, а во фракциях с частицами размером > 10 мм изменяется от 0,83 до 1,59%. Высокая концентрация P (467–691 мг/кг),

превышающая его кларк в каменном угле (250 мг/кг) [21] в 1,9-2,8 раза, выявлена во фракциях 1-3 и 4-10 мм. Наибольшее содержание Zn (98–230 мг/кг), превышающее кларк (28 мг/кг) [21] в 3,5-8,2 раза, также характерно для фракций 1-3 и 4-10 мм. Во фракциях 1-3, 4-10 и 13-25 мм выявлена наибольшая концентрация Cr (21-39 мг/кг), превышающая кларк (17 мг/кг) [21] в 1,2-2,3 раза, а во фракциях 1-3, 4-10, 13-25 и 50-100 мм – высокое содержание Cu (41–148 мг/кг), которое больше кларка меди (16 мг/кг) [21] в 2,6-9,3 раза.

Содержание As не превышает кларк (9 мг/кг) [21] во всех исследуемых фракциях, в то время как концентрация Pb (11 мг/кг), превосходящая кларк (9 мг/кг) [21] в 1,2 раза, зафиксирована только во фракции 1-3 мм. Рассматриваемые почвы характеризуются высоким средним валовым содержанием С(общ.) (25-30%), S(общ.) (4860-5730 мг/кг), превышающим ПДК (160 мг/кг) [22] в 30-36 раз для серы, а также Р (2766-3045 мг/кг), превосходящим его фоновую концентрацию в 1,4-1,5 раза [23]. Наряду с этим в исследуемых почвах присутствует высокая средняя валовая концентрация цинка, хрома и меди. Концентрация Zn (511-560 мг/кг) превышает его ПДК (110 мг/кг) [22] в 4,6-5,1 раза, содержание Cr (157-166 мг/кг) и Cu (114-116 мг/кг) превосходит их ПДК (90 мг/кг и 55 мг/кг) [22] в 1,7-1,8 для хрома и в 2,1 раза для меди соответственно. Кроме этого, в исследуемых почвах, содержащих каменный уголь, присутствует высокая средняя валовая концентрация наиболее токсичных элементов, таких как As и Pb. Содержание Pb (62-78 мг/кг) и As (12-13 мг/кг) превышает их ПДК (32 мг/кг и 2 мг/кг) [22] в 1,9-2,4 для свинца и в 6,0-6,5 раза для мышьяка, соответственно.

Значения суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  для исследуемых почв, содержащих каменный уголь, рассчитаны по уравнению из работы [24]:

$$Z_c = \sum_i^n K_{ci} - (n - 1), \quad (1)$$

где  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -элемента в образце, равный отношению концентраций  $S(\text{общ.})$ , Cr, Cu, Zn, As и Pb в исследуемых почвах к значениям их ПДК в почвах;  $n = 6$  – число учитываемых элементов ( $S(\text{общ.})$ , Cr, Cu, Zn, As и Pb). Значения  $Z_c$  для исследуемых почв, содержащих каменный уголь, варьируются от 42 до 49. Среднее значение  $Z_c$  для рассматриваемых почв составляет 46.

ЦА данных почв, содержащих каменный уголь, изучалась по результатам полевых исследований, проведенных с 1 июня по 30 сентября 2024 г. Эти исследования основывались на применении аппликационного метода «cotton strip assay» [10]. Подготовленные полотна белой ткани, состоящей на 100% из хлопка, каждое массой  $0,650 \pm 0,001$  г, и полотна белой льняной ткани, каждое массой  $1,000 \pm 0,001$  г, подвергались стерилизации с помощью утюга, нагретого до  $200^\circ$  [6]. Затем полотна тканей закрепляли с двух сторон на стеклянных пластинах размером  $2,5 \times 7,5$  см. Аппликаторы из хлопка и льна закладывали на глубину 0-10 см и 10-20 см в почвенные разрезы в вертикальном положении на 30 суток каждый месяц. За время проведения полевых исследований общее число аппликаторов, помещаемых в почвы, содержащих каменный уголь, составило 125. По истечении 30 суток аппликаторы из хлопка и льна вынимались из почвенных разрезов, остатки тканей аккуратно отделялись от стеклянных пластин, промывались водой от частиц почв, просушивались при комнатной температуре и взвешивались на аналитических весах. ЦА исследуемых почв определялась по потере массы тканей по уравнению из работы [6]:

$$\text{ЦА} = ((m_1 - m_2)/m_1) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $m_1$  – исходная масса ткани, г;  $m_2$  – остаточная масса ткани, г.

Рассчитанные значения ЦА исследуемых почв представлены в таблице.

Как следует из представленных данных, льняные полотна подверглись большему разрушению целлюлозоразрушающими микроорганизмами в отличие от хлопковых полотен в исследуемых почвах, содержащих каменный уголь (см. таблицу). Пик активности целлюлозолитиков наблюдался с июня до августа включительно, что связано с относительно высокими дневными и ночными температурами воздуха. В указанный период средние дневные температуры воздуха варьировали от  $+20^\circ\text{C}$  до  $+26^\circ\text{C}$ , а средние ночные температуры воздуха – от  $+10^\circ\text{C}$  до  $+18^\circ\text{C}$ . В период пика активности целлюлозолитиков зафиксированы максимальные рассчитанные значения ЦА исследуемых почв, которые в большинстве случаев согласно шкале интенсивности разрушения целлюлозы [10] соответствуют сильной (50-80%) и очень сильной

### ЦА (%) исследуемых почв, содержащих каменный уголь

Cellulose-decomposing activity (%) of the investigated coal bearing soils

Месяц	Глубина, см	Данные для льняных полотен				Данные для полотен из хлопка			
		$X_{\text{мин}}, \%$	$X_{\text{макс}}, \%$	$X_{\text{ср}}, \%$	$V, \%$	$X_{\text{мин}}, \%$	$X_{\text{макс}}, \%$	$X_{\text{ср}}, \%$	$V, \%$
Июнь	0 – 10	13	70	28	77	9,0	52	24	59
	10 – 20	22	75	48	39	16	64	37	57
Июль	0 – 10	30	87	62	36	14	80	42	50
	10 – 20	36	78	61	26	30	75	54	34
Август	0 – 10	33	85	61	32	15	52	24	51
	10 – 20	16	71	48	35	13	41	25	37
Сентябрь	0 – 10	11	44	23	58	1,7	7,8	4,6	49
	10 – 20	6,3	36	20	55	1,2	11	6,2	64

Примечание:  $X_{\text{мин}}$  – минимальное значение,  $X_{\text{макс}}$  – максимальное значение,  $X_{\text{ср}}$  – среднее значение,  $V$  – коэффициент вариации.

(>80%) интенсивности ее разложения (см. таблицу). Спад активности целлюлозолитиков произошел в сентябре, что связано с понижением средних дневных и ночных температур воздуха до +14°C и +4°C соответственно. В этот период для льняных полотен максимальные рассчитанные значения ЦА исследуемых почв составляют только 36-44%, что соответствует средней степени (30-50%) разложения целлюлозы [10]. Для хлопковых полотен происходит очень резкое снижение наибольших рассчитанных значений ЦА рассматриваемых почв до 7,8-11%, соответствующих слабой (10-30%) и очень слабой (<10%) степеням разложения целлюлозы [10]. Рассчитанные значения коэффициента вариации ( $V$ ) по значениям ЦА исследуемых почв в большинстве случаев превышают 30%, указывая на неоднородное распределение этого показателя. При этом, нередко наибольшие значения  $V$  характерны для интервала глубин от 0 до 10 см (см. таблицу). Это может быть связано с наличием уплотненных участков, где происходит снижение микробиологической активности [25], на поверхности исследуемых почв и в их приповерхностных слоях. Кроме этого, в исследуемых почвах на глубине 0-10 см выявлено крайне неоднородное распределение как крупных фракций каменного угля (мм) (13-25, 25-50 и 50-100), так и мелких (мм) (1-3 и 4-10).

В более глубоких слоях этих почв, на глубине более 10 см, в основном преобладают частицы каменного угля размером <10 мм, в то время как крупные фракции размером частиц >25 мм встречаются редко, здесь частицы каменного угля распределяются более равномерно. Верхние слои (0-10 см) исследуемых почв в большей степени обогащены каменным углем и характеризуется более высоким средним валовым содержанием серы (5730 мг/кг), цинка (560 мг/кг) и свинца (78 мг/кг) по сравнению с более глубокими слоями (10-20 см), где наблюдается снижение средней валовой концентрации  $S_{(общ.)}$  до 4860 мг/кг, Zn до 511 мг/кг, а Pb до 62 мг/кг. Средняя валовая концентрация фосфора, напротив, увеличивается от 2766 мг/кг для интервала глубин от 0 до 10 см и до 3045 мг/кг для интервала глубин от 10 до 20 см.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемые почвы Октябрьского района г. Иркутска, содержащие каменный уголь, характеризуются высокими значениями ЦА, несмотря на высокую степень их загрязнения  $S_{(общ.)}$ , Cr, Cu, Zn, As и Pb. Развитию и активной деятельности целлюлозолитиков способствуют значение рН исследуемых почв (6,4-6,6), соответствующее слабнокислой среде, обогащение почв углеродом и фосфором, а также климатические условия.

### Список литературы • References

1. Фасхутдинова Е.Р., Осинцева М.А., Неверова О.А. Перспективы использования микробиома почв угольных отвалов с целью ремедиации антропогенно нарушенных экосистем // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 4. С. 883-904. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-883-904>.  
Faskhutdinova E.R., Osintseva M.A., Neverova O.A. Prospects of using soil microbiome of mine tips for remediation of anthropogenically disturbed ecosystems. *Tehnika i tehnologiya pishchevykh proizvodstv.* 2021;51(4):883-904. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-883-904>.
2. Raghunandan K., Kumar A., Kumar S., Permaul K., Singh S. Production of gellan gum, an exopolysaccharide, from biodiesel-derived waste glycerol by *Sphingomonas* spp. *Biotech.* 2018;8(1):71. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1096-3>.
3. Zijiang Lu, Hengshuang Wang, Zhixiang Wang, Jiazhi Liu, Yinta Li, Ling Xia, Shaoxian Song. Critical steps in the restoration of coal mine soils: Microbial-accelerated soil reconstruction. *Journal of Environmental Management.* 2024;(368). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122200>.
4. Смирнова И.Э., Саданов А.К. Целлюлолитические бактерии, перспективные для создания биоудобрения под кормобобовые культуры // Научное обозрение. Биологические науки. 2021. № 1. С. 22-26. DOI: <https://doi.org/10.17513/srbs.1220>.  
Smirnova I.E., Sadanov A.K. Cellulolytic bacteria promising for creating biofertilizers for forage legumes crops. *Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki.* 2021;(1):22-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/srbs.1220>.
5. Авдеева Л.В., Осадчая А.И., Хархота М.А. Целлюлозная активность бактерий рода *Bacillus* // Microbiology & Biotechnology. 2011. № 2. С. 65-72. DOI: 10.18524/2307-4663.2011.2(14).92777.  
Avdeeva L.V., Osadchaya A.I., Kharkhota M.A. Cellolytic activity of bacteria of genus *Bacillus*. *Microbiology & Biotechnology.* 2011;(2):65-72. (In Russ.). DOI: 10.18524/2307-4663.2011.2(14).92777.
6. Гаврилова В.И., Герасимова М.И. Целлюлолитическая активность почв: методы измерения, факторы и эколого-географическая изменчивость // Вестник Моск. Университета. СЕР. 17. Почвоведение. 2019. № 1. С. 23-27.  
Gavrilova V.I., Gerasimova M.I. Cellulosolytic activity of soils: methods of measuring, factors, and geographic variability. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie.* 2019;(1):23-27. (In Russ.).
7. Джанаев З.Г. Агрохимия и биология почв юга России. М.: Изд-во МГУ, 2008. 528 с.
8. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
9. Баландина А.В., Еремченко О.З. Микробная ремедиация нефтезагрязненных агродер-ново-карбонатных почв и техногенных поверхностных образований в подзоне южной тайги. Пермь: Перм. гос. фарм. акад.; Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2016. 100 с.
10. Пряженникова О.Е. Целлюлолитическая активность почв в условиях городской среды // Вестник КемГУ. 2011. № 3(47). С. 10-14.  
Pryzhennikova O.E. Cellulolytic activity of soils in the conditions of city medium. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta.* 2011;3(47):10-14. (In Russ.).
11. Ананьева Ю.С., Шпис Т.Э. Влияние загрязнения свинцом на биологические свойства чернозема выщелоченного // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. № 10(72). С. 29-32.  
Ananyeva Yu.S., Shpis T.E. Effects of lead pollution on biological properties of the leached black soil. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2010;(10):29-32. (In Russ.).
12. Штельмах С.И. Целлюлолитическая активность почв, загрязненных токсичными элементами, в Октябрьском районе

- г. Иркутска // Исследования. Инновации. Практика. 2024. Ч. 1. № 13. С. 41-44. <https://doi.org/10.18411/iip-12-2024-09>.  
Shtel'makh S.I. Cellulose decomposing capacity of soils contaminated with toxic elements in the Oktyabrsky district of the city of Irkutsk. *Issledovaniya. Innovatsii. Praktika*. 2024;1(13):41-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.18411/iip-12-2024-09>.
13. Шарапова А.В., Семенов И.Н., Кречетов П.П., Леднев С.А., Королева Т.В. Влияние керосина на целлюлозолитическую активность дерново-подзолистой и песчаной пустынной почв (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 244-251. DOI: 10.31851/S0032180X22020113.  
Sharapova A.V., Semenov I.N., Krechetov P.P., Lednev S.A., Koroleva T.V. Influence of kerosene pollution on cellulolytic activity of albic retisols and arenosols (laboratory experiment). *Pochvovedenie*. 2022;(2):244-251. (In Russ.). DOI: 10.31851/S0032180X22020113.
  14. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Целлюлозолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия // Вестник КрасГАУ. 2015. № 7. С. 45-49.  
Shchur A.V., Vinogradov D.V., Valko V.P. The soil cellulolytic activity in various levels of agrotechnical influence. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;(7):45-49. (In Russ.).
  15. Ezeokoli O.T., Bezuidenhout K.K., Maboeta M.S., Hasa D.P., Adeleke R.A. Structural and functional differentiation of bacterial communities in post-coal mining reclamation soils of South Africa: bioindicators of soil ecosystem restoration. *Scientific Reports*. 2020;10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58576-5>
  16. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 328 с.
  17. Качинский Н.А. Физика почв. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1965. 323 с.
  18. Service Manual, *S8 TIGER XRF Spectrometer*, Bruker AXS, Berlin 2007. 700 p.
  19. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск: ВО «Наука», Сиб. издательская фирма, 1994. 264 с.
  20. Ревенко А.Г., Пашкова Г.В. Применение рентгенофлуоресцентного метода анализа для исследования состава угля и золы // Аналитика. 2022. Т. 12. № 6. С. 410-419.  
Revenko A.G., Pashkova G.V. Application of X-ray fluorescent method to study the composition of coal and ash. *Analitika*. 2022;12(6): 410-419. (In Russ.).
  21. Ketris M.P., Yudovich Y.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. *International Journal of Coal Geology*. 2009;78(2):135-148. DOI:10.1016/j.coal.2009.01.002.
  22. Изучение распределения макро- и микроэлементов в отходах обогащения углей Кузнецкого угольного бассейна / Н.В. Журавлева, Р.Р. Потокина, З.Р. Исмагилов и др. // Химия в интересах устойчивого развития. 2016. Т. 24. № 6. С. 761-767.  
Zhuravleva N.V., Potokina R.R., Ismagilov Z.R., Nagaytseva N.V. Research into the distribution of macro- and microelements in coal enrichment waste from the Kuznetsk coal basin. *Himiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2016;24(6):761-767. (In Russ.).
  23. Загрязнение почв урбанизированных территорий Байкальского региона / И.А. Белозерцева, И.Б. Воробьева, А.А. Сороковой и др. // Почвоведение. 2022. № 1. С. 119-132.  
Belozertseva I.A., Vorobyeva I.B., Sorokovoy A.A., Lopatina D.N. Soil pollution of urbanized centers of Baikal Region (Irkutsk, Ulan-Ude, Ulaanbaatar Cities). *Pochvovedenie*. 2022;(1):119-132. (In Russ.).
  24. Порядин А.Ф., Хованский А.Д. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды. М.: Издательский дом «Прибой», 1996. 350 с.
  25. Домась А.С., Рахуба М.Г., Колядич М.А. Целлюлозолитическая способность почв некоторых рекреационных территорий г. Бреста / Материалы конференции. Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение. 2022. С. 73-76.

**Authors Information**

**Shtel'makh S.I.** – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: fotina122@mail.ru

**Danilova M.V.** – Leading Engineer, Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033, Russian Federation, e-mail: maridan@crust.irk.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 24.12.2025

Поступила после рецензирования: 17.01.2026

Принята к публикации: 29.01.2026

**Paper info**

Received December 24, 2025

Reviewed January 17, 2026

Accepted January 29, 2026