

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ В КОНТРАСТНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ (р. МЗЫМТА, ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ)

© 2024 Л.В. Захарихина

*Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»,
Сочи, Россия, 354002; e-mail: zlv63@yandex.ru*

Поступила в редакцию 12.06.2024; после доработки 24.10.2024; принята в печать 25.12.2024

Река Мзымта (Черноморское побережье, Россия) эродировывает различные типы горных пород. Среди них преобладают аргиллиты, алевролиты и сланцы, в меньшем количестве присутствуют карбонатные и глинисто-карбонатные породы, иногда встречаются изверженные породы. Район характеризуется проявлением полиметаллической, золотой, сульфидной, редкометальной и редкоземельной минерализации. Проведенные исследования показали, что различия количественного и качественного элементного состава почв в долине р. Мзымта (установленные масс-спектрометрическим методом на 61 элемент) обусловлены сменой подстилающих горных пород. Сумма редкоземельных элементов и их фракционирование отличает почвы, образованные на магматических или осадочных почвообразующих породах. Са/Mg отношение можно рассматривать, как диагностический признак почв, сформированных на глинистых или на карбонатных породах. Влияние на почвы зон рудной минерализации проявляется в тесной корреляции основных рудных и сопутствующих элементов (As, Co, Pb, Cu, Ni, Bi, Sb и Zn) с Fe и Al.

Ключевые слова: Черноморское побережье России, р. Мзымта, геохимия почв.

ВВЕДЕНИЕ

Количественные геохимические показатели почв и факторы, их определяющие в конкретных природно-климатических условиях, важны при экологической оценке качества почвенного покрова по уровню химического загрязнения. Увеличение в мире площадей урбанизированных территорий и разнообразия источников химического загрязнения природных сред приводит к негативным изменениям глобального экологического потенциала почв. Это обуславливает необходимость установления таких источников и поиска новых способов сохранения экологических функций почвенного покрова. Решить эту задачу возможно только при всестороннем изучении свойств естественных и преобразованных почв, формирующихся в разных природных и техногенных условиях.

В последние десятилетия активно обсуждаются вопросы геохимических преобразований почв урболандшафтов. Повсеместно отмечается увеличение щелочности почв за счет поступле-

ния в них солей металлов, связанных с городским техногенезом и имеющих, как известно, щелочную реакцию (Бахматова и др., 2022; Захарихина, Буртовой, 2020; Строганова, Раппопорт, 2005; Hulisz, 2018; Khorshid et al., 2016; Silva et al., 2018; Zhao et al., 2020). Устанавливается состав элементов загрязнителей для разных природных условий, отличающихся степенью и характером техногенного воздействия. Спектр этих элементов зачастую схож и включает: Cd, Cr, Ni, Zn, Cu, Pb, As, Fe, V (Hulisz, 2018; Khorshid et al., 2016; Silva et al., 2018; Zhao et al., 2020). Отмечается широкий диапазон изменений концентраций химических элементов загрязнителей (в пределах 2–4 порядков) в почвах разных типов землепользования (Yang et al., 2020; Tume et al., 2019). В тоже время, нередко отмечается наличие геохимических аномалий в условиях города, обусловленных не техногенезом, а природной региональной геохимической специализацией почвообразующих пород (Fernández et al., 2018; Rachwał et al., 2017).

Для объективной оценки изменений химического состава почв при глобальной урбанизации

необходимы сведения о специфике их формирования в конкретных региональных условиях по широкому спектру химических элементов. Нужна оценка природного геохимического фона, сравнение с которым позволит выявлять техногенные аномалии, не связанные с естественной обогащенностью пород и почв химическими элементами.

Бассейн реки Мзымта, расположенный на южном склоне Кавказского хребта (рис. 1), характеризуется неоднородностью и контрастностью слагающих его горных пород. На территории в основном распространены аргиллиты, алевро-

литы, глинистые сланцы, также встречаются карбонатные, глинисто-карбонатные и, редко, магматические породы (Лаврищев и др., 2002). Кроме того, для района характерны зоны минерализации: полиметаллической, золотой, сульфидной, редкометалльно-редкоземельной (Богуш, Черкашин, 2012; Газеев и др., 2018; Карелина и др., 2017). Установление закономерностей формирования элементного состава почв на территории, имеющей контрастное геологическое строение и определение характера загрязнения этих почв в зонах техногенного воздействия, явилось целью настоящих исследований.

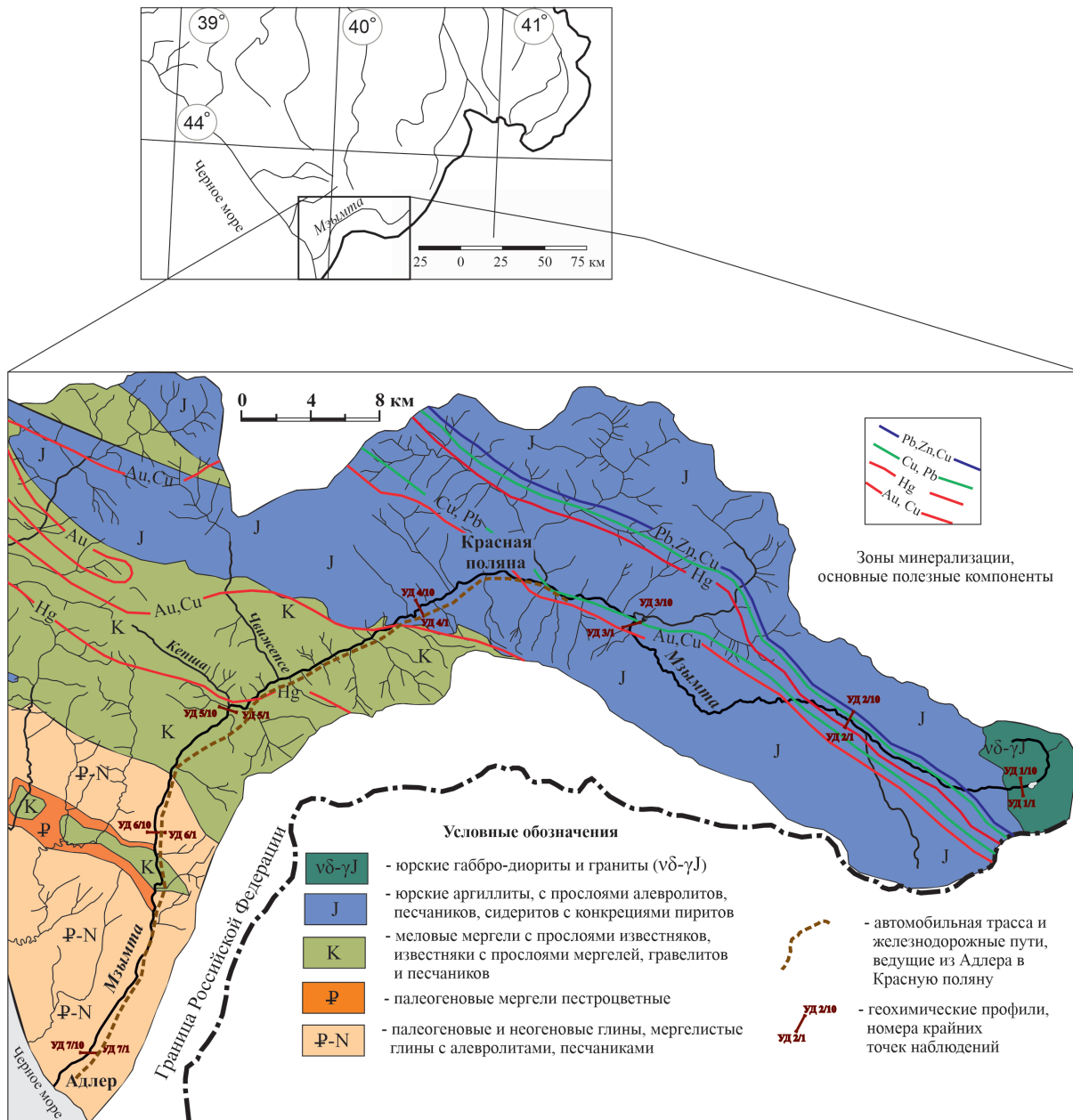


Рис. 1. Местоположение геохимических профилей и геологическая карта долины р. Мзымта. Геологическая основа по (Лаврищев и др., 2002).

Fig. 1. Location of geochemical profiles and geological map of the Mzymta River valley. Geological basis according to (Lavrishchev et al., 2002).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

От верховий до приустьевой части долины реки Мзымта было заложено семь геохимических профилей (рис. 1). В каждом профиле опробование почв производилось по 10 точкам поперек долины с шагом в 20–30 м. Каждому опробованному геохимическому профилю условно присвоено название — участок долины реки (Уд).

Основным фактором, определяющим геохимические свойства почв, является состав подстилающих почвообразующих пород. Для Черноморского побережья это юрские аргиллиты, алевролиты, песчаники, реже юрские магматические породы и меловые и палеогеновые карбонатные породы (рис. 1). Наиболее обширные ареалы известняков характерны для среднего течения рек Черноморского побережья. В долине р. Мзымта вниз по течению характерна типичная для района смена горных пород — аргиллитов и алевролитов на карбонатные мергели (Лаврищев и др., 2002). По составу почвообразующих пород в долине р. Мзымта выделяются четыре основных интервала. Уд-1 (высота 1838 м над уровнем моря) характеризует почвы, развитые на магматических породах — юрских габбро-диоритах и гранитах. Уд-2 – Уд-4 заложены в области распространения юрских аргиллитов с прослоями алевролитов, песчаников, сидеритов с конкрециями пирита. Уд-5 характеризует почвы, сформированные на меловых мергелях, содержащих прослойки песчаников. Далее, вплоть до устья реки (Уд-6 – Уд-7) в основании современных аллювиальных отложений залегают палеогеновые и неогеновые глины, мергелистые глины с прослоями алевролитов и песчаников.

Уд-1 – Уд-3 заложены выше по течению от крупного потенциального источника загрязнения — горно-рекреационного и спортивно-туристического комплекса Красная Поляна. Уд-4 находится ниже по течению от этого комплекса. Уд-5 и Уд-6 расположены ниже крупных правобережных притоков р. Мзымта — рек Чвижепсе и Кепша и одноименных им населенных пунктов. Уд-7 находится выше устья р. Мзымта на окраине г. Адлер. Между Уд-3 и Уд-7, вдоль берегов реки, проходят построенные к Зимним Олимпийским играм 2014 г. автомобильные трассы и железнодорожные пути, ведущие из Адлера в Красную Поляну.

В верхнем течении реки (от Уд-1 до Уд-3), имеющей здесь V-образную долину, исследованы аллювиальные серогумусовые (дерновые) почвы и буроземы типичные (Классификация..., 2008), развитые, соответственно, в пойме реки и на склонах надпойменных террас. От Уд-4 и ниже, где река выходит на низменность и течет по широкой долине, изучались только аллюви-

альные почвы. Как показали результаты предварительных рекогносцированных исследований (Захарихина, Керимзаде, 2022), элементный состав аллювиальных почв и буроземов не обнаруживает значимых различий. Это позволило рассматривать в целом их общие геохимические особенности для каждого изученного интервала реки (рис. 1). Кроме того, схожесть элементного состава разных типов почв долины, свидетельствует о едином для них источнике химических элементов, роль которого, безусловно, выполняют горные породы. Аллювиальные отложения, на которых образованы почвы поймы реки, сложенные местным переотложенным минерально-органическим материалом, также отражают состав горных пород изученной территории.

Почвы характеризуются слабокислой реакцией среды в верхнем течении реки и близкой к нейтральной реакцией среде в среднем и нижнем течении водотока. Содержание гумуса в почвах высокое, варьирует от 3.3 до 5.7 %. Степень насыщенности почв основаниями высокая (около 90 %), исключение составляет участок в истоках реки, где это показатель снижен до 46 % (Захарихина, Керимзаде, 2022).

Отбор проб верхних органоинеральных горизонтов почв в каждой точке наблюдений выполнялся методом конверта — из пяти проб, отобранных по краям и в центре квадрата со стороной 5 м, для аналитических исследований формировалась одна объединенная проба.

Для каждого изученного участка долины реки, в пределах одного геохимического профиля, анализировалась по 10 почвенных проб. Учитывая небольшой разброс значений, средние содержания для конкретного участка долины рассчитывались как средние арифметические. Результаты расчетов средних содержаний приведены в табл. 1.

Расчеты кларков концентрации элементов (K_k) в почвах выполнены по формуле $K_k = C_{уч}/K$, где $C_{уч}$ — средние содержания элементов для участка долины реки, изученного в границах конкретного геохимического профиля, K — общая распространенность элементов для почв континентов (Ярошевский, 2004). В работе рассматривается весь диапазон значений $1 > K_k > 1$, где $K_k > 1$ — избыточные химические элементы, $K_k < 1$ — дефицитные элементы. Построены геохимические формулы для исследуемых почв путем ранжирования и группирования химических элементов по величине K_k .

Для определения эколого-геохимического состояния почв конкретных участков долины реки произведены расчеты суммарного показателя загрязнения Z_c по формуле:

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

где K_{ci} — коэффициент концентрации i -го элемента в почвах конкретного участка долины, n — количество включенных в расчет химических элементов.

Входящий в состав формулы Z_c коэффициент концентрации химических элементов K_c равен отношению содержания каждого включенного в расчет элемента (C_i) для конкретного участка долины (его усредненные содержания для профиля) к среднему содержанию элемента в целом для долины реки вне техногенного воздействия (C_{cp}):

$$K_c = C_i / C_{cp}$$

Для почв долины р. Мзымта в качестве C_{cp} приняты средние концентрации элементов в почвах верховий реки по Уд-1 – Уд-3, где полностью отсутствует техногенная нагрузка. Выбранный промежуток долины реки отличается контрастностью подстилающих горных пород. Однако использование усредненных данных по почвам, образованным на разных породах в качестве эталона при расчете K_c дает представление об эколого-геохимическом состоянии почв на конкретном участке долины реки.

Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения Z_c имеет следующие категории: допустимая — менее 16, умеренно-опасная — 16-32, опасная — 32-128 и чрезвычайно опасная — более 128 (Соловов, 1985).

Для установления степени согласованности изменения геохимических особенностей почв выделенных интервалов, отличающихся по составу почвообразующих пород, выполнен расчет коэффициентов корреляции с применением программа MS Excel (Вислобокова, Евсеенкова, 2021). Рассчитано два вида парных коэффициентов корреляции между двумя переменными — ранговой Спирмена и линейной Пирсона (Вислобокова, Евсеенкова, 2021). Поскольку все исследуемые нами переменные в массиве данных измерены в количественной шкале в работе был использован коэффициент линейной корреляции Пирсона. Рассчитаны коэффициенты корреляции более, чем одной пары элементов из массива данных (набора данных по показателям K_k всех изученных химических элементов в почвах, выбранных участков долины реки).

С целью оценки роли насыпей автомобильных и железнодорожных дорог, как возможного источников загрязнения почв в зоне техногенного воздействия, рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона между усредненными величинами K_c химических элементов в мелкозем насыпи и в почвах.

Валовые содержания 61 химического элемента в почвах установлены количественными методами анализов — масс-спектральным и

атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS и ICP-AES). Использована аттестованная методика (Методика..., 2015). Аппаратура — mass spectrometer XSeries I (Thermo Scientific, USA); atomic emission spectrometer iCAP 6500 Duo (Thermo Scientific, USA).

Выполнялась процедура разложения образцов в открытой системе с использованием смеси кислот: HF, HNO₃, HCl и HClO₄. Химический выход всех определяемых элементов при таком способе разложения, как правило, составляет 90–100 %. Погрешность определения химических элементов при использовании данных методов и применения внешнего стандарта ≤ 6%. Пределы обнаружения метода для микроэлементов в почвах — сотые доли микрограмм на грамм (мкг/г). Для макрокомпонентов — сотые доли %. Пределы обнаружения химических элементов при анализе почв определяли на основании измерения контрольной пробы (не менее трех в каждой партии).

Концентрации изучаемых химических элементов также определяли в стандартных образцах. Совпадение с аттестованными значениями составило в среднем 1–3 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Отражение различий состава горных пород в элементном составе почв. Установлено существенное различие количественного и качественного элементного состава почв, развитых в верховьях реки на магматических породах (Уд-1), и почв, образованных ниже по течению (Уд-2 – Уд-7) на осадочных породах (табл. 1). Наглядно эти различия отражают геохимические формулы почв (табл. 2).

Степень согласованности изменения геохимических особенностей почв, сформированных на разных геологических породах, отражают коэффициенты корреляции между точками наблюдений по показателю K_k (табл. 3). При наличии тесной корреляционной связи между Уд-2 – Уд-7 (r от 0.69 до 0.98) характерна слабая с ними связь Уд-1 ($r < 0.46$ при $r_{5\%крит.} = 0.28$), до незначительной с Уд-3 ($r = 0.26$).

Для изученных почв, сформированных на магматических породах, характерен небогатый элементный состав. 39 из 55 химических элементов имеют показатель K_k ниже единицы. Для почв, сформированных на осадочных породах, дефицитных химических элементов заметно меньше (от 25 до 30 из 55).

Для почв, сформированных на осадочных породах, характерна группа элементов, у которых показатель $K_k > 2$, что не наблюдается для почв на магматических породах в верховье реки. Существенно различается состав избыточных

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ

Таблица 1. Концентрации химических элементов в почвах долины р. Мзымта (Уд-1 – Уд-7), в техногенных насыпях и их распространенность в почвах континентов (К по (Ярошевский, 2004)). Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe в %, остальные элементы в мг/кг

Table 1. Concentrations of chemical elements in soils of the Mzymta River valley (Oud 1 – Oud 7 samples) in anthropogenic embankments and their prevalence in continental soils (K according to (Yaroshevsky, 2004)). Na, Mg, Al, P, S, K, Ca, Ti, Mn, Fe in %, all other elements in mg/kg

Элемент	К	Уд-1	Уд-2	Уд-3	Уд-4	Уд-5	Уд-6	Уд-7	Техногенные насыпи
Li	30.00	12.92	61.38	88.96	61.54	60.68	61.59	64.80	64.33
Be	1.50	2.70	2.36	2.83	2.13	2.09	2.15	2.11	2.23
Na	6.30	2.44	1.20	1.14	1.33	1.21	1.23	1.60	1.30
Mg	6.30	1.17	1.18	1.15	1.48	1.42	1.30	1.61	1.47
Al	7.13	6.60	9.20	10.25	8.98	8.81	9.01	10.26	9.11
P	0.80	0.11	0.17	0.14	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09
S	0.85	0.07	0.08	0.05	0.07	0.04	0.04	0.04	0.05
K	1.36	1.33	2.30	2.65	2.20	2.16	2.19	2.54	2.23
Ca	1.37	1.04	0.64	0.64	1.36	2.33	1.43	3.05	1.74
Sc	8	11.52	14.80	16.26	15.18	15.09	14.97	14.27	15.53
V	90	93.1	140.7	163.5	147.7	140.7	141.6	163.5	149.0
Cr	60	41.8	86.9	100.3	121.4	105.5	94.9	127.6	112.6
Mn	0.05	0.09	0.19	0.33	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15
Fe	3.80	3.70	4.91	5.40	5.10	5.15	5.06	5.46	5.31
Co	9	11.64	22.17	27.85	18.66	19.58	19.56	16.47	19.65
Ni	20	21.44	58.98	75.35	67.05	68.67	67.66	64.13	69.83
Cu	23	13.24	55.89	92.25	50.81	54.13	57.34	56.03	55.72
Zn	60	93.9	165.1	150.2	164.6	124.4	147.0	138.1	151.1
Ga	20	16.88	18.2	20.7	18.0	18.24	18.18	18.23	19.03
As	6	5.51	27.79	60.89	24.91	24.55	21.83	18.97	24.48
Rb	70	55.3	120.8	142.4	119.6	115.0	116.9	127.1	120.6
Sr	220	106.1	90.2	114.1	125.1	139.9	123.1	162.9	133.2
Y	25	22.55	10.23	9.89	10.51	14.21	14.52	12.80	13.34
Zr	300	63.62	40.27	26.17	30.76	47.73	54.16	54.16	45.10
Nb	11	10.22	12.28	16.27	10.54	13.34	15.47	39.79	13.77
Mo	2	1.61	1.92	3.46	1.58	1.47	1.59	6.95	1.62
Ag	0.1	0.01	0.06	0.03	0.02	0.04	0.04	0.01	0.04
Cd	0.16	0.19	0.18	0.16	0.14	0.14	0.19	0.14	0.16
Sn	1.1	2.26	2.76	1.37	1.59	1.68	1.67	0.78	1.71
Sb	0.9	0.36	2.03	2.11	1.82	1.39	1.54	2.12	1.62
Cs	3.0	1.94	9.12	10.98	6.01	5.48	5.97	1.97	5.94
Ba	500.0	192.0	333.7	415.0	361.6	401.8	400.3	168.2	403.4
La	40.0	21.59	13.30	15.61	13.69	21.27	22.24	19.67	20.02
Ce	50.0	46.54	33.07	39.30	32.87	47.21	49.67	43.73	44.98
Pr	7.0	5.27	3.47	4.25	3.42	5.16	5.34	4.29	4.78
Nd	33.0	21.44	15.71	19.48	15.39	21.30	22.12	19.77	20.38
Sm	5.0	4.81	3.98	4.82	3.85	4.76	4.96	4.59	4.71
Eu	1.0	0.96	0.85	1.05	0.89	1.08	1.09	1.01	1.06
Gd	4.0	4.24	3.09	3.66	3.04	3.76	3.90	3.55	3.64
Tb	0.70	0.69	0.43	0.48	0.44	0.52	0.55	0.53	0.52

Таблица 1. Окончание

Table 1. Continued

Dy	5.00	4.08	2.19	2.34	2.30	2.74	2.91	2.76	2.76
Ho	0.60	0.79	0.38	0.39	0.41	0.50	0.53	0.48	0.50
Er	2.00	2.38	1.04	1.03	1.09	1.42	1.51	1.32	1.38
Tm	0.40	0.33	0.15	0.15	0.16	0.20	0.21	0.22	0.20
Yb	3.00	2.34	0.94	0.86	0.97	1.31	1.43	1.16	1.27
Lu	0.35	0.33	0.13	0.12	0.13	0.19	0.20	0.17	0.18
Hf	7.0	1.98	1.06	0.72	0.82	1.22	1.39	1.16	1.19
Ta	1.0	0.83	0.60	0.79	0.61	0.72	0.73	0.61	0.72
W	1.0	1.19	1.38	1.57	1.77	1.70	1.60	1.63	1.72
Hg	0.10	0.03	0.09	0.15	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07
Tl	0.3	0.24	0.50	0.64	0.48	0.47	0.51	0.56	0.51
Pb	20.0	15.66	51.45	44.63	34.47	26.40	29.35	24.60	30.98
Bi	0.2	0.27	0.46	0.55	0.45	0.38	0.39	0.41	0.42
Th	6.5	6.63	5.99	7.44	6.06	7.71	8.12	6.57	7.66
U	1.5	2.80	0.91	0.85	0.87	1.19	1.34	1.07	1.19
Zc					4.43	6.45	6.06	12.45	

Примечание. Содержание Rh, Pd, Ag, Te, Re, Ir, Pt, Au во всех пробах ниже предела обнаружения метода: < 0.01, 0.01, 0.01, 0.2, 0.0009, 0.01, 0.05, 0.05, соответственно.

Note. Contents of Rh, Pd, Ag, Te, Re, Ir, Pt, Au in all samples are below the detection limit of the method: < 0.01, 0.01, 0.01, 0.2, 0.0009, 0.01, 0.05, 0.05, respectively.

Таблица 2. Геохимические формулы почв долины р. Мзымта по показателю Кк

Table 2. Geochemical formulae of the soils of the Mzymta River valley according to the Kk indicator

Кк > 5	5 - >2	2 - >1	1 - > 0.5	0.5 - >0.2	0.2- >0.1
верховье реки, Уд-1 (магматические породы, габбро-диориты и граниты)					
—	—	Sn(2.0)-U(1.9)- Be(1.8)-Mn(1.7)- Zn(1.6)-Sc,Bi(1.4)- Ho,Co(1.3)- W,Cd,Er(1.2)- Ni,Gd(1.1)	V,Th,Tb,K,Fe,Sm Eu(1.0)- Lu,Ce,Nb,Al,As, Y(0.9)- Ga,Tm,Ta,Dy,Mo,Tl,Rb, Pb,Yb,Ca,Pr(0.8)- Cr,Nd,Cs,Cu(0.6)	La,Sr(0.5)- Li,Sb,Na, Ba(0.4)- Hf,Hg(0.3)	Zr,Mg(0.2)- P,Ag,S(0.1)
верхнее течение реки, Уд-2 (осадочные породы, аргиллиты с прослоями алевролитов)					
	As(4.6)-Mn(3.7)- Cs(3.0)-Ni(2.9)- Zn(2.8)-Pb(2.6)- Sn(2.5)-Co(2.5)- Cu(2.4)-Bi,Sb(2.3)	Sc(1.8)-Rb,K,Tl(1.7)- Be,V,Cr(1.6)- W(1.4)-Fe,Al(1.3)- Cd,Nb(1.1)	Mo(1.0)-Hg,Th,Ga, Eu(0.9)-Sm,Gd(0.8)- Ba,Ce(0.7)- Ho,Tb,U,Ta,Ag(0.6)	Er,Pr,Nd, Ca(0.5)- Dy,Sr,Y,Lu, Tm(0.4)- La,Yb(0.3)	P,Na,Mg, Hf(0.2)- Zr,S(0.1)
верхнее течение реки, Уд-3 (осадочные породы, аргиллиты с прослоями алевролитов)					
As(10.1)- Mn(6.6)	Cu(4.0), Ni(3.8)-Cs(3.7)- Co(3.1)-Li(3.0)- Bi(2.8)-Zn(2.5)- Sb(2.3)-Pb,Tl(2.2)	Rb,Sc,K(2.0)- V(1.8)-Mo,Cr(1.7)- W(1.6)-Hg,Nb(1.5)- Al,Fe(1.4)-Sn(1.3)- Th,Eu(1.1)	Ga,Cd,Sm(1.0)-Gd(0.9)- Ba,Ta,Ce(0.8)-Tb(0.7)- Ho,Pr,Nd, U(0.6)	Sr,Er,Dy, Ca(0.5)- Y,La,Tm, Ag(0.4)- Lu,Yb(0.3)	Mg,Na, P(0.2)- Hf,Zr,S(0.1)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ

Таблица 2. Окончание

Table 2. Continued

среднее течение реки, Уд-4 (осадочные породы, аргиллиты с прослоями алевролитов)					
As(4.1), Ni(3.4)- Zn, Mn(2.7)- Bi(2.3)-Cu(2.2)- Co, Li(2.1)	Cr, Sb, Cs(2.0)- Sc(1.9)-W(1.8)- Pb, Rb(1.7)- V, K, Tl(1.6)- Be, Sn(1.4)-Fe, Al(1.3)	Ca, Nb(1.0)- Th, Ga, Eu, Cd(0.9)- Mo, Sm, Gd(0.8)- Ba, Hg, Ho, Ce(0.7)- Tb, Ta, U, Sr, Er(0.6)	Pr, Nd, Dy(0.5) -Y, Tm, Lu(0.4)- La, Yb(0.3)	Ag, Mg, Na(0.2)- P, Hf, Zr, S(0.1)	
среднее течение реки, Уд-5 (осадочные породы, меловые мергели с известняками)					
As(4.1), Ni(3.4)-Mn(2.8)- Cu(2.3)-Co(2.2)- Zn(2.1)	Li(2.0)-Sc, Bi(1.9)- Cs, Cr(1.8)- Ca, W(1.7)- Rb, K, V, Tl, Sb(1.6)- Sn(1.5)-Be, Fe(1.4)- Pb(1.3)- Al, Nb, Th(1.2)- Eu(1.1)	Sm, Ce, Gd, Cd(0.9)- Ho, Ba, U, Hg(0.8)- Tb, Pr, Mo, Ta, Er, Ng(0.7)-Sr, Y, Dy(0.6)	La, Lu, Tm(0.5)- Yb, Ag(0.4)	Mg, Na, Hf, Zr(0.2)- P, S(0.1)	
нижнее течение реки, Уд-6 (осадочные породы, глины с алевролитами, песчаниками)					
As(3.6)-Ni(3.4), Mn(2.9)- Cu, Zn(2.5)- Co(2.2)-Li(2.1)	Cs, Bi(2.0)-Sc(1.9)- Sb, Tl, Rb(1.7)- K, W, Cr, V(1.6)- Sn, Pb(1.5)- Be, Nb(1.4)- Fe, Al, Th(1.3)- Cd(1.2)	Eu, Ca, Ce, Sm, Gd(1.0)- Ga, U, Ho(0.9)- Ba, Mo, Tb, Pr, Er(0.8)- Ta, Hg, Nd(0.7)- Dy, Y, Lu, Sr, La(0.6)	Tm, Yb(0.5)- Ag(0.4)	Mg, Hf, Na, Zr(0.2)- P, S(0.1)	
приустьевая часть реки, Уд-7 (осадочные породы, глины с алевролитами, песчаниками)					
Nb(3.6)-Mo(3.5)- Ni, As(3.2)- Mn(3.0)- Cu, Sb(2.4)- Zn(2.3)-Ca, Li(2.2)- Cr, Bi(2.1)	Tl, K(1.9)- Co, V, Rb, Sc(1.8)- W(1.6)- Al, Fe, Be(1.4)-Pb(1.2)	Th, Eu(1.0)-Sm, Ga, Gd, Ce, Cd(0.9)-Ho, Tb(0.8)- Sr, U, Sn, Hg, Er, Cs(0.7)-Pr, Ta, Nd, Dy(0.6)- Tm, Y, La, Lu(0.5)	Yb(0.4)-Ba, Mg, Na(0.3)	Zr, Hf(0.2)- P, Ag, S(0.1)	

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Пирсона между точками наблюдений по показателю K_k ($r_{5\%крит} = 0.28$)

Table 3. Correlation coefficients between observation points according to the K_k indicator ($r_{5\%crit} = 0.28$)

	<i>Мз 1</i>	<i>Мз 2</i>	<i>Мз 3</i>	<i>Мз 4</i>	<i>Мз 5</i>	<i>Мз 6</i>	<i>Мз 7</i>
Уд-1	1						
Уд-2	0.414	1.000					
Уд-3	0.265	0.914	1.000				
Уд-4	0.397	0.952	0.887	1.000			
Уд-5	0.426	0.918	0.892	0.974	1.000		
Уд-6	0.462	0.943	0.883	0.979	0.984	1.000	
Уд-7	0.328	0.693	0.687	0.776	0.789	0.790	1.000

химических элементов для почв верховий реки в сравнении с почвами всей долины.

Для почв, развитых на магматических породах, высокие значения K_k характерны для: Sn, U, Be, Mn, Zn, Sc, Bi. Это очевидно связано с тем, что кларки всех перечисленных элементов имеют более высокие значения в магматических породах, по сравнению с осадочными (Григорьев, 2003).

В расширенный спектр элементов с устойчиво высокими K_k для почв, развитых на осадочных породах, входят: As, Mn, Sb, Ni, Bi,

Cu, Co, Zn, Cs. Химические элементы имеют существенно более высокие кларки в осадочных породах в сравнении с кларками в магматических. К примеру, кларк As в осадочных породах составляет 7.6 мг/кг, в магматических — 1.7 мг/кг (Григорьев, 2003).

Поведение группы редкоземельных элементов (РЗЭ) представляет особый интерес для оценки особенностей формирования почв на разных горных породах. РЗЭ за счет сходных химических свойств ведут себя однотипно при смене природных условий. При смене горной породы

отдельные элементы могут фракционировать и проявлять положительные или отрицательные аномалии (Nesbitt, 1979). Аналогичное поведение может проявляться и в почвах, образованных на разных горных породах.

Для оценки данного поведения РЗЭ разделены согласно (Aubert et al., 2002), на легкие ЛРЗЭ (La, Ce, Pr, Nd), средние СРЗЭ (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy,) и тяжелые ТРЗЭ (Ho, Er, Tm, Yb, Lu и Y).

Нормализованные по североамериканскому сланцу (NASC) (Nesbitt, 1979) спектры концентраций РЗЭ имеют фракционирование, выражающееся в стабильной обогащенности всех почв, сформированных на осадочных породах, средней группой редкоземельных элементов (СРЗЭ) (рис. 2).

Поведение РЗЭ в донных отложениях долины реки, а также в горных породах района исследований, характеризуется аналогичным фракционированием. Кроме того, данная региональная особенность проявляется также в растениях (Захарихина, Шарафан, 2021) и даже в мягких тканях средиземноморской мидии, обитающей в прибрежной зоне в районе устья р. Мзымта (Zakharikhina et al., 2022).

Иная картина наблюдается для почв, образованных в верховьях реки на магматических породах. Здесь почвы характеризуются повышенным содержанием средней и тяжелой групп редкоземельных элементов. Кроме того, они отличаются более высокими содержаниями суммы РЗЭ в

сравнении с почвами, сформированными ниже по течению реки на осадочных породах. Сумма содержаний РЗЭ в них в среднем на 21 % выше, чем в почвах, развитых на осадочных породах. Это обстоятельство обусловлено более высокими кларками РЗЭ для магматических пород в сравнении с осадочными (Григорьев, 2003). Для территории наиболее распространенными осадочными породами являются — песчаники и карбонаты, сумма их РЗЭ по принятым кларковым значениям составляет 98.9 и 37.6 мг/кг соответственно. А в характерных для верховий реки Мзымта средних (диориты) и кислых (граниты) вулканитах сумма РЗЭ имеет значение 121.2 и 153.9 мг/л соответственно. Данная закономерность подтверждается характером распространения РЗЭ в донных отложениях реки — их сумма в отложениях верховий реки на 30 % выше, чем в ее среднем и нижнем течении (Литвиненко, Захарихина, 2022).

Таким образом, сумма РЗЭ и их фракционирование в почвах могут, по нашему мнению, являться характеристиками различий состава магматических и осадочных пород, на которых эти почвы сформированы.

Различия почв, образованных на аргиллитах и на карбонатах породах, проявляется в содержаниях в них Са. Ожидается более высокие содержания Са ($K_k = 1.7$) наблюдается в почвах, развитых на карбонатных породах (Уд-5) и ниже по течению в зоне развития мергелистых глин с

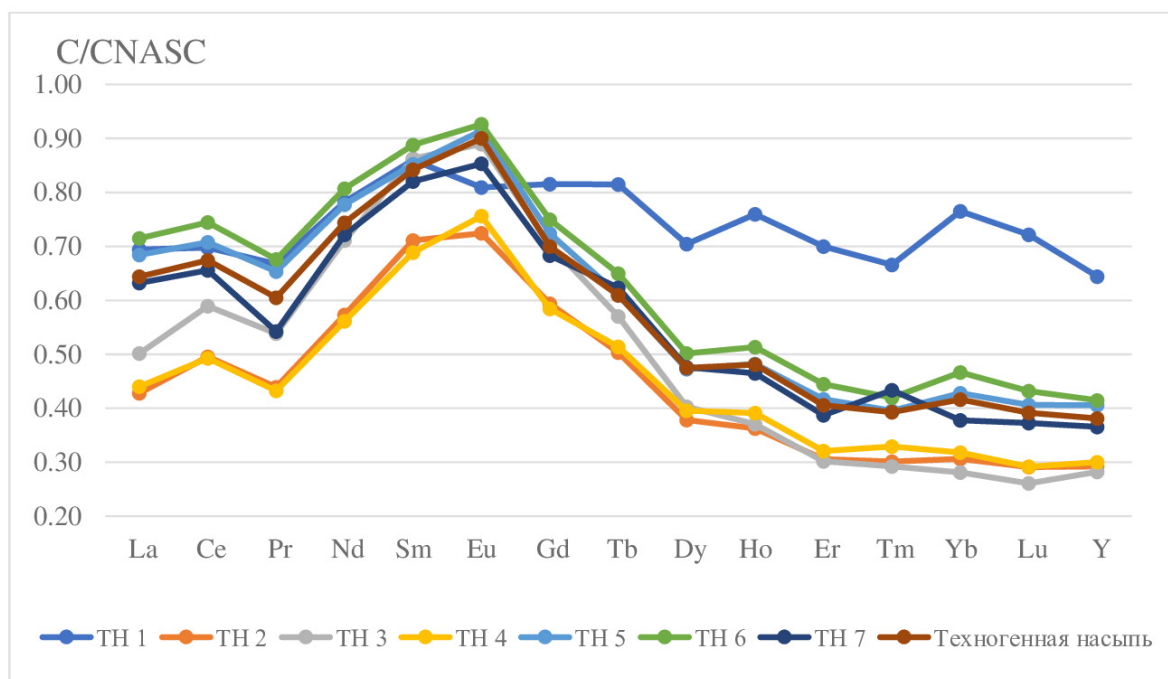


Рис. 2. Спектры концентраций РЗЭ в почвах и в техногенных насыпях, нормализованные по отношению к североамериканскому сланцу (NASC) (Стрекопытов др., 1990).

Fig. 2. REE concentration spectra in soils and in anthropogenic embankments normalised against North American shale (NASC) (Strekoptyov et al., 1990).

песчаниками (Уд-6, $K_k = 1.0$, Уд-7, $K_k = 2.2$). Выше по течению для почв, образованных в ареале аргиллитов, этот элемент является дефицитным (K_k около 0.5).

Кроме Са в почвах долины реки этой зоны наблюдается увеличение концентраций Mg. Однако его рост в сравнении с Са менее существенен. Объясняется это средними содержаниями (Кларками) Са и Mg в глинистых и карбонатных породах. Кларк Са в карбонатных породах (325000 мг/кг) выше, чем в глинистых (29400 мг/кг) в 11 раз, а содержания Mg (46000 и 15400 мг/кг в глинистых и карбонатных породах соответственно) лишь в три раза (Григорьев, 2003). Данная закономерность отражается в почвах. Для изученной территории Са/Mg отношение для почв, образованных в верхнем и среднем течении реки на аргиллитах, составляет в среднем 0.7, для почв, развитых на мергелях — 1.6. Соответственно показатель Са/Mg можно рассматривать как диагностический признак почв, образованных на глинистых и карбонатных породах.

Влияние зон рудной минерализации на элементный состав почв. Для наиболее распространенных почв, развитых на осадочных породах, отмечается довольно устойчивый состав избыточных химических элементов, включающих: As, Mn, Ni, Zn, Cu, Co.

Накоплению перечисленных элементов в почвах долины реки способствуют известные для бассейна реки зоны полиметаллической (Zn, Cu, Pb, Hg, рис. 1), золотой (спутником которой всегда является As) (Богуш, Черка-

шина, 2012); сульфидной (Карелина и др., 2017) и редкометалльно-редкоземельной (Газеев и др., 2018) минерализации. Влияние зон минерализации на состав почв наиболее заметно по повышенным содержаниям в них As, значения K_k которого варьируют от 3.2 до 10. С зонами рассеянной рудной минерализации связаны типичные для почв долины р. Мзымты повышенные концентрации Zn, Cu, Co и Ni, с K_k в среднем от 2 до 3.

Поступление элементов в почвы из зон минерализации подтверждается схожим поведением избыточных химических элементов. К примеру, коэффициенты корреляции в почвах As с Co, Cu, Ni и Zn составляют 0.95, 0.92, 0.68, 0.52, соответственно, при $r_{5\%крит} = 0.22$.

Отмечается наличие тесной корреляции основных рудных и сопутствующих элементов, таких как As, Co, Pb, Cu, Ni, Bi, Sb и Zn, с Fe и Al (рис. 3).

Связь указанных элементов с Fe может быть объяснена повышенными сорбционными способностями гидроокислов железа, образующихся при гипергенном разложении пирита, являющегося типичным минералом практически любых зон минерализации.

Для широко распространенных в бассейне р. Мзымты глинистых пород характерным избыточным элементом является Al, который при их выветривании переходит в повышенных концентрациях во вторичные глинистые минералы, обладающие хорошими сорбционными свойствами. Этот элемент может показывать высокие содержания и во вторичных глинистых

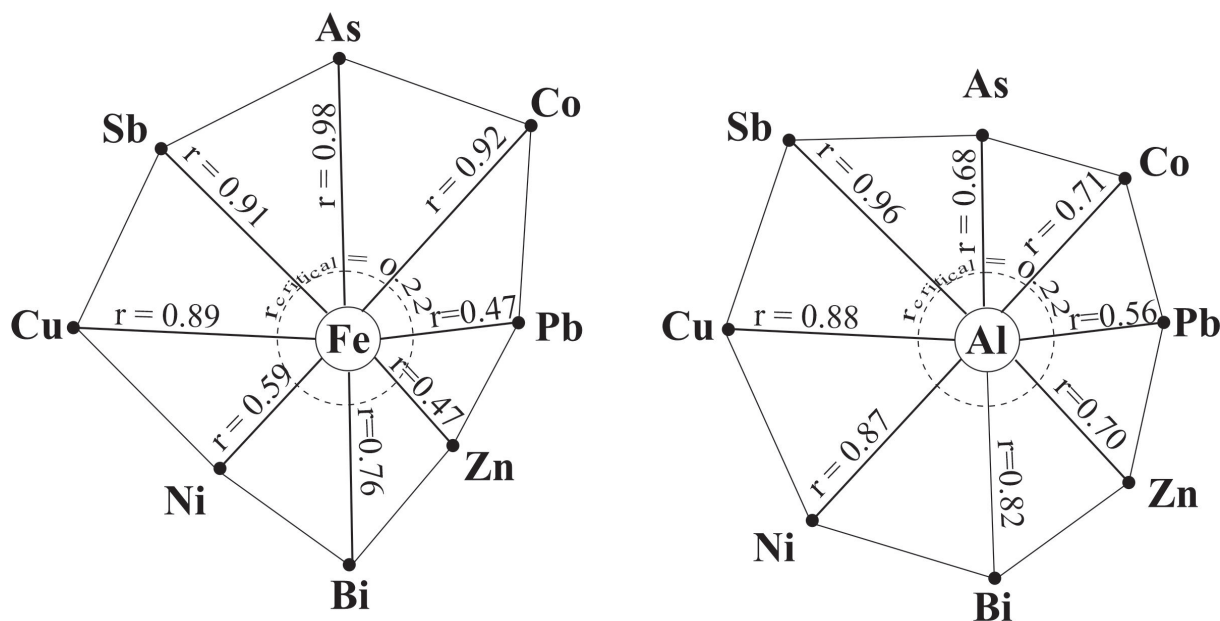


Рис. 3. Коэффициенты корреляции Пирсона Fe и Al с химическими элементами-спутниками зон минерализации.

Fig. 3. Correlation of Fe and Al with chemical elements-satellites of mineralization zones (Pearson correlation coefficients).

минералах, образующихся при выветривании кислых магматических пород.

Рудные элементы в зоне гипергинеза сорбируются на гидроокислах железа и вторичных глинистых минералах, накапливаются в них, как в промежуточном коллекторе, и далее в повышенных количествах поступают в почвы.

Общие региональные особенности почв.

По данным настоящих исследований установлены две общих региональных особенности почв долины р. Мзымты: во-первых, во всех почвах отмечается довольно устойчивый качественный состав дефицитных элементов, во-вторых, в них отсутствуют контрастные геохимические аномалии.

Качественный состав дефицитных элементов фактически не меняется на протяжении всей долины реки. Низкие значения $K_k (< 0.5)$ в почвах, изученной территории, имеют: P, Ag, S, Hf, Mg, Na, Zr. Спектр дефицитных элементов также включает в той или иной степени редкоземельные элементы, имеющие $K_k \sim 0.5$.

В донных отложениях реки, отражающих химический состав пород долины, повышены содержания следующей группы элементов: Mo, Nb, As, Zn, Se, Cr, Li, Pb, Ni, Sb, Mn, Bi, V, Al, Sc, Cu, Ga, Fe, K, Rb, Na, Co, Be, Ti, Mg, Eu (Litvinenko, Zakharikhina, 2022), для большинства которых характерны высокие концентрации в почвах, развитых на осадочных породах. Коэффициент корреляции (r), приведенных в формулах ранжированных рядов элементов показывает тесную связь почв долины и донных отложений р. Мзымты также и по относительному количественному составу ($r = 0.72$, при $r_{5\%крит} = 0.282$).

Особенности загрязнения почв. Сравнение элементного состава почв долины р. Мзымты с фоновыми значениями позволило установить, что суммарный показатель их загрязнения на

всех ключевых участках соответствует допустимому уровню (Z_c менее 16 (табл. 1, последняя строка)). Контрастные геохимические аномалии для территории долины не характерны.

Качественный элементный состав почв, развитых ниже по течению от горно-рекреационного комплекса и новых транспортных коммуникаций (от т.н. Уд-4), по составу избыточных элементов практически не отличается от фоновой территории (табл. 4). К элементам с устойчиво повышенными K_c относится в первую очередь Ca.

Геохимическая близость почв, развитых в среднем и нижнем течении реки, проявляется во вхождении в число избыточных таких РЗЭ, как La, Ce, Pr, Eu, Sm. Повышенные содержания этих элементов отмечаются также в аргиллитах — породах наиболее типичных для территории (Захарихина, Шарафан, 2021).

Очевидно, что источником повышенных содержаний РЗЭ в почвах зоны техногенеза являются лишенные почвенно-растительного слоя техногенные площадки и осыпи новых транспортных объектов. Последние сложены тем же что и почвообразующие породы материалом, но существенно измельченным и, соответственно, подверженным активному выветриванию. Высокие показатели K_c у Ca, очевидно обусловлены использованием для отсыпки техногенных площадок материала, добываемого из карьеров, разрабатываемых в зоне развития карбонатных пород. Вхождение в состав элементов с повышенными K_c — Cr, Ni, Fe свидетельствует о незначительном присутствии в техногенных грунтах материала горных пород из зон рудной минерализации.

Тесная корреляционная зависимость элементного состава почв зоны техногенеза и грунта техногенных площадок подтверждает эту связь.

Таблица 4. Значения K_c химических элементов (приведены в скобках) для почв и коэффициенты корреляции Пирсона (r) по K_c с техногенными насыпями ($r_{5\%крит} = 0.28$)

Table 4. Concentration coefficients of chemical elements (K_c -given in parentheses) for soils and their rank correlation coefficients (r) for K_c with technogenic embankments ($r_{5\%crit} = 0.28$)

Точки наблюдений	$K_c > 1$	r
Уд-1	U (1.8) – Lu, Yb (1.7) – Er, Y, Hf, Tm (1.6) – Na, Ho, Zr (1.5) – Dy (1.4) – Ca, Tb, La (1.3) – Pr, Ce, Gd (1.2)	-0.036
Уд-2	Ag (1.8) – Pb, Sb (1.4) – Cs, P, Zn, S (1.2)	0.062
Уд-3	As (1.9) – Cu, Hg (1.7) – Mn (1.6) – Cs, Mo, Ni (1.5) – Sb, Tl, Co (1.4) – Rb, Ba, Cr, Bi, K, Nb (1.3) – V, Pb, Al, Fe, Sc (1.2)	0.009
Уд-4	Ca (1.8) – Cr (1.6) – Ni, W, Mg (1.3) – Sb, Sr, Zn, Ba (1.2)	0.780
Уд-5	Ca (3.0) – Cr, Sr (1.4) – Ni, Ba, La (1.3) – W, Mg, Pr, Ce, Th (1.2)	0.958
Уд-6	Ca (1.9) – La, Ni, Ba, Ce, Zr (1.3) – Cr, Pr, Th, Nb, Sr, Ag, Nd, W, Eu (1.2)	0.906
Уд-7	Ca (4.0) – Nb (3.1) – Mo (3.0) – Cr (1.7) – Sr (1.6) – Mg, Zr (1.4) – Ni, V, Tl, K, Rb, Al, W, Fe, La (1.2)	0.579

Коэффициенты корреляции, рассчитанные по показателям Кс почв и техногенных насыпных грунтов ниже по течению от Уд-4 составляют значения от 0.78 до 0.96 единиц, при $r_{5\%крит} = 0.271$. В то время как выше Уд-4 корреляция с техногенными грунтами отсутствует (табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные позволяют выделить преобладающие факторы формирования элементного состава почв долины р. Мзымты. В целом элементный состав почв формируется под совместным воздействием природных и природно-техногенных источников. Первые — основные, представлены горными породами различного петрографического состава. В качестве природно-техногенных источников выступают насыпные площадки и объекты автомобильных и железнодорожных трасс, появившиеся в здесь в период подготовки Зимних Олимпийских игр 2014 г. Это лишённые почвенно-растительного слоя техногенные площадки и осыпи, сложенные тем же что и почвообразующие породы материалом, но существенно измельчённым и соответственно, подверженным активному выветриванию.

Сумма редкоземельных элементов и их фракционирование отличает почвы, образованные на осадочных или магматических почвообразующих породах. Са/Мг отношения является диагностическим признаком, отличающим почвы, образованные на глинистых или на карбонатных породах.

Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СЦ РАН FGRW-2024-0004, № государственной регистрации 124022000094-8.

Список литературы [References]

- Бахматова К.А., Матинян Н.Н., Шешукова А.А.* Антропогенные почвы городских парков (обзор) // Почвоведение. 2022. № 1. С. 77–95. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22010026> [*Bakhmatova K.A., Matinyan N.N., Sheshukova A.A.* Anthropogenic Soils of Urban Parks: A Review // Eurasian Soil Science. 2022. V. 55. № 1. P. 64–80. <https://doi.org/10.1134/S1064229322010021>].
- Богуш И.А., Черкашин В.И.* Металлогения юрских осадочных комплексов Кавказа // Научно-практическая конференция, посвященная памяти заслуженного геолога РФ Д.А. Мирзоева. Труды института геологии дагестанского научного центра РАН. 2012. Тез. докл. С. 7–13 [*Bogush I.A., Cherkashin V.I.* Metallogeniya yurskih osadochnyh kompleksov Kavkaza // Nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya pamyati zasluzhennogo geologa RF D.A. Mirzoeva. Trudy instituta geologii dagestanskogo
- nauchnogo centra RAN.* 2012. Tez. Dokl. P. 7–13 (in Russian)].
- Вислобокова Д.Д., Евсеенкова В.В.* Применение средств Excel для корреляционного анализа экспериментальных данных // Молодой ученый. 2021. № 46 (388). С. 69–74 [*Vislobokova D.D., Evseenkova V.V.* Primenenie sredstv Excel dlya korrelyacionnogo analiza eksperimentalnyh dannyh // Molodoj ucheny. 2021. № 46 (388). P. 69–74 (in Russian)].
- Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А.* Палеогеновая базальт-трахитовая формация Западного Кавказа: геохимическая специфика, вопросы петрогенезиса, геодинамическая типизация, металлогения // Геология и геофизика Юга России. 2018. № 4. С. 18–32 [*Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A.* Paleogenovaya bazalt-trahitovaya formaciya Zapadnogo Kavkaza: geohimicheskaya specifiika, voprosy petrogenezisa, geodinamicheskaya tipizaciya, metallogeniya // Geologiya i geofizika Yuga Rossii. 2018. № 4. P. 18–32 (in Russian)].
- Григорьев Н.А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792 [*Grigoryev N.A.* Average concentrations of chemical elements in rocks of the upper continental crust // Geochemistry International. 2003. V. 41. Iss. 7. P. 711–718].
- Захарихина Л.В., Буртовой А.В.* Антропогенная эволюция желтоземов санаторной зоны г. Сочи // Почвоведение. 2020. № 6. С. 751–761. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20060143> [*Zakharikhina L.V., Burtovoy A.V.* Anthropogenic evolution of zheltomezems in the Sochi sanatorium area // Eurasian Soil Science. 2020. V. 53. № 6. P. 820–828. <https://doi.org/10.1134/S1064229320060149>].
- Захарихина Л.В., Шарафан М.В.* Поведение редкоземельных элементов в почвенно-растительном покрове урболандшафтов г. Сочи // КРАУНЦ, Серия науки о Земле. 2021. № 2. Вып. 50. С. 48–58. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2021-2-50-48-58> [*Zakharikhina L.V., Sharafan M.V.* Behavior of rare earth elements in the soil and vegetation cover of urban landscapes in Sochi // Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle. 2021. 50(2). P. 48–58].
- Захарихина Л.В., Керимзаде В.В.* Комплексные эколого-геохимические исследования долины р. Мзымта. Сборник материалов Ежегодной отчетной конференции грантодержателей Кубанского научного фонда. Краснодар. 2022. С. 340–345 [*Zaharikhina L.V., Kerimzade V.V.* Kompleksnyye ekologo-geohimicheskkiye issledovaniya doliny r. Mzymta. Sbornik materialov Ezhegodnoj otchetnoj konferencii grantoderzhatelej Kubanskogo nauchnogo fonda. Krasnodar. 2022. P. 340–345 (in Russian)].
- Карелина Е.В., Марков В.Е., Блоков В.И.* Перспективность Краснополянского района города Сочи на благороднометалльное оруденение // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия. Инженерные исследования. 2017. № 18. Вып. 4. С. 497–504 [*Karelina E.V., Markov V.E., Blokov V.I.* Perspektivnost' Krasnopolyanenskogo rajona goroda Sochi na blagorodnometall'noe orudenenie // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby

- narodov. Seriya. Inzhenernye issledovaniya. 2017. № 18. Вып. 4. P. 497–504 (in Russian)].
- Классификация почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. 2008. С. 57–61 [Klassifikaciya pochv Rossii. Moscow: Pochvennyj in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008. P. 57–61 (in Russian)].
- Лаврищев В.А., Пруцкий Н.И., Семенов В.М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Серия Кавказская. Лист К-37-V. Изд. 2-е. СПб. 2002 [Lavrishchev V.A., Pruckij N.I., Semenov V.M. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj federacii masshtaba 1:200 000. Seriya Kavkazskaya. List K-37-V. Izd. 2-e. SPb. 2002 (in Russian)].
- Литвиненко Ю.С., Захарихина Л.В. Геохимия и радиоэкология вод и донных отложений р. Мзымты Черноморского побережья // Геохимия. 2022. Т. 67. № 4. С. 376–393 [Litvinenko Yu.S., Zakharikhina L.V. Geochemistry and radioecology of waters and bottom sediments of the Mzymta river, the Black sea coast // Geochemistry International. 2022. V. 60. № 4. P. 379–394. <https://doi.org/10.31857/S0016752522030049>].
- Методика количественного химического анализа НСАМ № 499 – АЭС/МС «Определение элементного состава горных пород, почв, грунтов и донных отложений атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой и масс-спектральным с индуктивно связанной плазмой методами» М.: ВИМС, 2015. 32 с [Metodika kolichestvennogo himicheskogo analiza NSAM № 499 – AES/MS «Opredelenie elementnogo sostava gornyh porod, pochv, gruntov i donnyh otlozhenij atomno-emissionnym s induktivno svyazannoju plazmoj i mass-spektral'nyj s induktivno svyazannoju plazmoj metodami». Moscow: VIMS, 2015. 32 p. (in Russian)].
- Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. Москва: Недра, 1990. 335 с. [Saev Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. et al. Geohimiya okruzhayushchej sredy. Moscow: Nedra, 1990. 335 p. (in Russian)].
- Стрекопытов С.В., Дубинин А.В., Волков И.И. Общие закономерности поведения редкоземельных элементов в пелагических осадках Тихого океана // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 2. С. 133–145. [Strekokopytov S.V., Dubinin A.V., Volkov I.I. Obshhie zakonomernosti povedeniya redkozemelnyh elementov v pelagicheskix osadkax Tixogo okeana // Litologiya i polezny'e iskopaemy'e. 1999. № 2. P. 133–145 (in Russian)].
- Строганова М.Н., Ратпопорт А.В. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов южной тайги // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1094–1101 [Stroganova M.N., Rappoport A.V. Specific features of anthropogenic soils in botanical gardens of metropolises in the southern taiga subzone // Eurasian Soil Science. 2005. T. 38. № 9. P. 966–972.].
- Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 70 с. [Solovov A.P. Geohimicheskie metody poiskov mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh. Moscow: Nedra, 1985. 70 p. (in Russian)].
- Ярошевский А.А. Проблемы современной геохимии. Новосибирск: НГУ, 2004. 194 с. [Yaroshevskij A.A. Problemy sovremennoj geohimii. Novosibirsk: NGU, 2004. 194 p. (in Russian)].
- Aubert D., Stille P., Probst A. et al. Characterization and migration of atmospheric REE in soils and surface waters // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2002. V. 66. Iss. 19. P. 3339–3350.
- Fernández S., Cotos-Yáñez T., Roca-Pardiñas J., Ordóñez C. Geographically Weighted Principal Components Analysis to assess diffuse pollution sources of soil heavy metal: Application to rough mountain areas in Northwest Spain // Geoderma. 2018. V. 3111. P. 120–129. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2016.10.012>
- Hulisz P., Charzyński P., Greinert A. Urban soil resources of medium-sized cities in Poland: a comparative case study of Toruń and Zielona Góra // J Soils Sediments. 2018. V. 18. P. 358–372. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1596-x>
- Khorshid M.S.H., Thiele-Bruhn S. Contamination status and assessment of urban and non-urban soils in the region of Sulaimani City, Kurdistan, Iraq. Environmental Earth Sciences. 2016. V. 75. Article number 1171. 15 p. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5972-z>
- Nesbitt H.W. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiarite // Nature. 1979. V. 279. P. 206–216.
- Rachwal M., Kardel K., Magiera T., Bens O. Application of magnetic susceptibility in assessment of heavy metal contamination of Saxonian soil (Germany) caused by industrial dust deposition // Geoderma. 2017. V. 295. P. 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.02.007>
- Silva V.G., Pinto M.C., Dinis P.A., Mandavela L. Geochemistry of Urban Soil in the Fast-Growing Kuito City (Angola). Conference of the Arabian Journal of Geosciences Petrogenesis and Exploration of the Earth's Interior. 2018. P. 133–135. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01575-6_32
- Tume P., González E., Reyes F., Fuentes J.P., Medina G. Sources analysis and health risk assessment of trace elements in urban soils of Hualpen, Chile // Catena. 2019. V. 175. P. 304–316. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.030>
- Yang P., Yang P. J., Drohan M., Li H. Spatial variability of heavy metal ecological risk in urban soils from Linfen, China // Catena. 2020. V. 190. 104554. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104554>
- Zakharikhina L.V., Rudev P.V., Paltseva A.V. Chemical composition and morphology of the Mediterranean mussel, Black Sea coast of Russia. 2022 // Marine Pollution Bulletin, 2022. V. 179. 113692. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113692>
- Zhao K., Zhang L., Dong J., Wu J., Fu Weijun. Risk assessment spatial patterns and source apportionment of soil heavy metals in a typical Chinese hickory plantation region of southeastern China // Geoderma. 2020. V. 36015. 114011. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114011>

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ
**FEATURES OF FORMATION OF SOIL ELEMENT COMPOSITION IN CONTRAST
GEOLOGICAL CONDITIONS (MZYMTA R., BLACK SEA COAST OF RUSSIA)**

L.V. Zakharikhina

*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia, 354002;
e-mail: zlv63@yandex.ru*

Received June 12, 2024; revised October 24, 2024; accepted December 25, 2024

The Mzymta River (Black Sea coast, Russia) erodes different types of rocks. Among them, mudstones, siltstones and shales are predominating, and carbonate and clay-carbonate rocks are present in smaller quantities, and occasionally eruptive rocks are encountered. The area is characterized by the occurrence of polymetallic, gold, sulphide, rare-metal and rare-earth mineralization. The studies have shown that the differences in the quantitative and qualitative elemental composition of soils in the Mzymta River valley (determined by mass-spectrometric method for 61 elements) correlate with underlying rocks. The amount of rare-earth elements and their fractionation distinguishes soils formed on igneous or sedimentary soil-forming rocks. Ca/Mg ratio can be considered as a diagnostic sign of soils formed on clayey or carbonate rocks. The influence of ore mineralisation zones on soils is manifested in the close correlation of the main ore and associated elements (As, Co, Pb, Cu, Ni, Bi, Sb and Zn) with Fe and Al.

Keywords: Black Sea coast of Russia, Mzymta River, soil geochemistry.