

---

---

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

---

---

УДК 502.55:550.4

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ДИНАМИКА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЮГА РОССИИ

© 2015 г. В. В. Дьяченко, И.Ю. Матасова

*Новороссийский политехнический институт (филиал)  
ФГБОУ ВПО Кубанского государственного технологического университета,  
ул. Карла Маркса, 20, Новороссийск, Краснодарский край, 353900, Россия. E-mail: v-v-d@mail.ru*

Поступила в редакцию 14.07.2014 г.

Статья посвящена анализу результатов мониторинга химических элементов в почвах ландшафтов юга Российской Федерации. Исследования проводились на протяжении более 30 лет, что позволило неоднократно опробовать почвы различных регионов и сформировать базу данных из более 10000 проб. Результаты исследований свидетельствуют о росте концентраций химических элементов в почвах вследствие, как глобального загрязнения, так и влияния конкретных техногенных объектов. Особенно интенсивно повышаются концентрации в почвах W, Zn, Cr, Pb и Ni.

**Ключевые слова:** *почвы, микроэлементы, ландшафты, загрязнение, кларки, мониторинг.*

#### ВВЕДЕНИЕ

Результаты многочисленных почвенно-геохимических и ландшафтно-геохимических исследований свидетельствуют о глобальном изменении концентраций и соотношений химических элементов в окружающей среде и актуализируют вопросы геоэкологического мониторинга почв. Но дать реальную оценку степени геохимической трансформации и роли антропогенного фактора, скажем с начала индустриальной эпохи, сложно, поскольку первые достоверные сведения опираются на обобщение результатов опробования почв в 1940–1950-х годах А.П. Виноградовым [1]. В регионах ситуация еще сложнее, так как в широкую практику геохимические исследования вошли в 1970-е гг., а несовершенство применявшихся тогда методов анализа почв не позволяет объективно оценить интенсивность и закономерности их эколого-геохимической трансформации, а также степень загрязнения различных ландшафтов. Югу России в этом отношении “повезло” больше, поскольку с конца 1970-х гг. здесь проводились ландшафтно-геохимические исследования Ростовским государственным университетом (под руководством проф. Алексеенко В.А.), а позже и Кубанским государственным технологическим университетом, в которых авторы статьи участвовали со студенческих лет. По результатам исследований сформирована база данных, содержащая

более 9000 точек опробования, характеризующая распределение микроэлементов в различных геосистемах (почвах, горных породах, растениях).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения основных тенденций, масштаба и интенсивности загрязнения ландшафтов юга России рассмотрено распределение химических элементов в почвах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, а также Воронежской области. Почвы юга России были опробованы в процессе региональной ландшафтно-геохимической съемки с 1979 по 2013 гг. Основу массива проб составили образцы почв, равномерно распределенные по территории с плотностью одна проба на 25–100 км<sup>2</sup>, в зависимости от задач исследований и сложности ландшафтно-геохимического строения. Более детально, на основе неоднократного опробования, рассмотрена динамика концентраций микроэлементов в почвах различных ландшафтов Краснодарского края, Северной Осетии и Ростовской области.

Объектом опробования был верхний почвенный горизонт А до глубины 15–20 см, в наибольшей степени подвергающийся загрязнению. Общая база данных включает более 10000 проб почв, проанализированных спектральным анализом на содержание 21–35 микроэлементов в аккредито-

ванной лаборатории ОАО “Кавказгеолсъемка” (ранее ЦЛ ПГО “Севкавгеология”) с 1980 по 2013 гг., с соблюдением всех требований внешнего и внутреннего контроля качества лабораторных работ [10], показавшего удовлетворительную сходимость анализов. Для установления возможного “лабораторного дрейфа” проводились повторные анализы проб 1980-х гг. Все результаты лабораторных исследований статистически обработаны и представлены в процентах. В наиболее важных случаях приведена ошибка среднего значения с вероятностью 95%. Равномерность и большой объем опробования в пределах крупной биосферной структуры позволяют считать эти данные достаточно объективными.

### АНАЛИЗ ДИНАМИКИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЮГА РОССИИ

Изменение концентраций химических элементов в естественных и антропогенно измененных ландшафтах методически правильно рассматривать отдельно. Так как, если в биогенных ландшафтах оно в основном является следствием природных процессов и глобального загрязнения, то в техногенных ландшафтах ведущую роль играет вид природопользования, соблюдение природоохранных технологий и другие факторы. Тем не менее, во всех рассмотренных регионах выделились группы элементов, динамика концентраций которых в почвах природных и антропогенных ландшафтов похожа. Например, в почвах как естественных, так и техногенных ландшафтов Краснодарского края за 12–15 лет (использовано более 3000 проб) увеличилась концентрация Pb, Ni, Mn, Cu, Co, Cr (перечень рассматриваемых элементов определяется аналитическими работами 1980-х гг.). Причем, Pb, Cu, Cr более активно накапливались в природных ландшафтах, а Ni, Mn и Co в техногенных (табл. 1).

В почвах региона заметно снизилось содержание Mo и менее существенно – Ti, Ga и Ba. Анализ динамики микроэлементов в конкретных ландшафтах позволяет более детально оценить

особенности процесса. Например, содержание Pb увеличилось в 1.1–2.2 раза в почвах 27 ландшафтов из 30 и более интенсивно в почвах природных ландшафтов. Повышение содержаний Cu, Mn и Cr более заметно в почвах биогенных ландшафтов, а среди антропогенных – в почвах виноградников, садов и пастбищ. Содержание Ni, наоборот, в 1.1–1.8 раза выросло в почвах практически всех техногенных ландшафтов, а в почвах некоторых биогенных уменьшилось. Наиболее активной динамикой выделяются почвы виноградников, садов и пастбищ. Причем, пастбища в этом списке присутствуют формально, так как находятся в севообороте с многолетними культурами, а через несколько лет после их выкорчевывания биоценоз слабо отличается от деградированных степных пастбищ. Однако геохимия почв еще 10–15 лет определяется внесенными удобрениями и химикатами. Поэтому сходство динамики микроэлементов с садами и виноградниками унаследовано и не связано с выпасом.

В почвах Волгодонского района Ростовской области также обнаружены элементы, концентрация которых за 12 лет, прошедших между опробованиями, увеличилась во всех рассмотренных ландшафтах. В эту группу входят Pb, Ni, Ag, Mo, V, Cr и Ga. В почвах агроландшафтов заметно снизилось содержание наиболее биофильных элементов – P, Mn, и менее значительно Ti, Zn и Ba (табл. 2).

Анализ динамики концентраций химических элементов в почвах нижнего Дона свидетельствует о сохранении тенденции накопления микроэлементов [12]. Здесь произошло увеличение концентраций всех металлов и особенно значительно Cr, Zn, Ni и Mn (табл. 3).

Оценка динамики микроэлементов проведена и в Северной Осетии. В середине 1960-х гг. здесь было изучено распределение широкого спектра химических элементов в почвах и горных породах из 82 шурфов (около 500 проб) Е.В. Рубилиным [16]. Наиболее определенные выводы о динамике можно сделать по Cu, Zn, Pb, Mo, Ba, Ni, Mn, V и Cr.

**Таблица 1.** Динамика концентраций микроэлементов в почвах ландшафтов Краснодарского края

Наименование ландшафтов	Период опробования	Содержание элементов ( $n \cdot 10^{-3} \%$ )											
		Mn	Ni	Cu	Ti	V	Cr	Zn	Pb	Co	Mo	Ba	Ga
Биогенные ландшафты	1980–1982	121	5.7	4.7	637	15.9	9.9	15.3	2.2	2.2	0.46	109	2.14
	1993–1995	138	5.9	5.5	605	15.9	14.3	14.6	3.2	2.2	0.32	83	2.03
Техногенные ландшафты	1980–1982	84	4.5	6.1	533	14.3	10.4	12.6	3.3	1.9	0.48	73	1.95
	1993–1995	99	5.5	6.7	482	13.2	11.1	12.4	4.0	2.2	0.35	72	1.87

**Таблица 2.** Динамика концентраций микроэлементов ( $n \cdot 10^{-3} \%$ ) в почвах Волгодонского района Ростовской области (верхняя строка – 1981 г., нижняя строка – 1992 г.)

Cu	Zn	Pb	Ag	Sn	Mo	Ba	Co	Ni	Mn	Ti	V	Cr	Ga	P	Li
Пастбища на степях, трансаккумулятивные															
6.2	11.2	4.9	0.007	0.53	0.24	104	2.1	4.3	106	514	8.5	9.7	1.9	116	5.6
7.2	10.1	5.7	0.011	0.51	0.32	95	2.1	5.1	87	475	11.2	11.2	2.0	82	6.0
Полеводческие однолетние, богарные, элювиальные															
6.9	11.4	4.6	0.007	0.44	0.21	106	2.3	4.2	139	611	8.9	10.1	1.7	125	6.2
6.6	8.9	5.5	0.009	0.49	0.59	106	2.0	4.9	87	495	10.7	10.7	1.9	71	5.9
Полеводческие однолетние, богарные, трансэлювиальные															
5.7	9.9	4.6	0.007	0.49	0.24	103	2.2	4.2	91	499	8.9	9.8	1.8	121	5.4
6.7	9.1	5.6	0.009	0.50	0.44	101	2.1	5.1	91	492	10.6	11.5	1.9	78	5.9
Полеводческие однолетние, богарные, трансаккумулятивные															
5.7	10.9	4.3	0.007	0.51	0.24	115	2.1	4.4	99	532	8.7	9.8	1.8	119	6.3
7.2	10.4	5.5	0.010	0.51	0.30	87	2.0	5.5	95	512	10.6	13.1	2.0	87	6.0
Полеводческие однолетние, орошаемые, трансаккумулятивные															
7.4	10.6	5.6	0.007	0.48	0.28	115	2.3	4.5	102	558	9.3	10.3	1.8	150	5.8
6.4	8.7	5.7	0.012	0.50	0.30	95	2.1	5.0	88	483	11.7	12.5	2.0	77	6.0

**Таблица 3.** Динамика содержаний микроэлементов в почвах пастбищ поймы и дельты р. Дон

Наименование ландшафтов	Период опробования	Содержание элементов ( $n \cdot 10^{-3} \%$ )									
		Mn	Ni	Cu	Ti	V	Cr	Zn	Pb	Co	
Пойменные ландшафты	1977–1982	55.7	3.7	3.6	400	13.7	10.9	6.1	1.9	1.4	
	1995–2000	71.9	5.2	3.9	409	10.8	26.1	9.6	2.2	1.7	
Дельтовые ландшафты	1977–1981	45.5	3.3	3.4	380	8.6	10.5	4.6	2.1	1.2	
	1995–2000	64.7	4.6	3.6	458	10.2	29.8	8.2	2.4	1.3	

Их концентрации были определены не только во всех пробах почв, но и почвообразующих породах, что дает возможность учесть лабораторный “дрейф”. Для сравнения использован доминирующий ландшафт широколиственных лесов с бурыми почвами, примыкающий к Владикавказу с юга, в котором Е.В. Рубилиным пройдена большая часть шурфов, а также средняя концентрация химических элементов в почвах Северного Кавказа и Северной Осетии в целом (табл. 4).

Анализ этих данных свидетельствует о том, что с середины 1960-х гг. в почвах повысились концентрации всех элементов кроме Mn. Концентрация Ni увеличилась в 2–2.8 раза, Mo – в 2 раза, V – в 1.3–2.5 раза, Cu и Cr – в 1.7–1.9 раза, Zn – в 1.3–2.7 раза. Количественно оценить динамику Ag, W, Co, Ga, Ge, Sr, Zr, Be не позволяет слабая чувствительность анализа в 1960-х гг. Однако очевидно, что их концентрации также повысились. Интенсивность увеличения концен-

траций микроэлементов в почвах данного региона значительно выше, чем ранее рассмотренных, ввиду более длительного периода мониторинга, наличия разрабатываемых месторождений и двух металлургических комбинатов – “Электроцинк” (Zn, Cu, Pb, Ag, Cd) и “Победит” (W, Mo, Sn), расположенных на окраине г. Владикавказа.

О тенденции повышения концентраций тяжелых металлов в различных компонентах ландшафтов Кавказа свидетельствует и изучение химического состава ледников. По данным А.В. Евсеева [9], в слоях льда, образовавшихся в конце XIX в., содержание Cu, Pb, Cd в 2 раза ниже современного.

Таким образом, результаты регионального геоэкологического мониторинга различных ландшафтов юга России свидетельствуют о значительном изменении содержаний многих химических элементов за последние десятилетия и, прежде всего, об их существенном увеличении. В каждом

**Таблица 4.** Динамика содержаний микроэлементов в почвах Северной Осетии ( $n \cdot 10^{-3} \%$ )

Mn	Ni	Cu	V	Cr	Zn	Pb	Co	Mo	Ba	Ag	Sr	Sn	Be
Бурые почвы Северной Осетии по данным [13]													
160	1.6	2.3	5.5	7.1	5.6	4.2	<1	0.15	59	<0.01	<10	0.1	0.1
Бурые почвы Северной Осетии в 1989 г. по данным Дьяченко В.В.													
125	4.6	3.9	13.6	9.9	14.9	4,7	2.2	0.32	65	0.015	16	0.65	0.35
Среднее содержание в почвах Северной Осетии [13]													
164	2.2	2.6	9.2	9.0	8.3	3.4	< 1	0.15	61	<0.01	<10	0.1	0.1
Среднее содержание в почвах Северного Кавказа [2]													
93	4.7	5.1	12.6	11.0	10.6	3.5	2.0	0.31	72	0.010	22	0.56	0.39

регионе повышение концентраций касается большинства рассмотренных химических элементов, но их перечень и динамика отличаются вследствие различной ландшафтно-геохимической обстановки и техногенной нагрузки. В зонах загрязнения интенсивность накопления выше и характерна для более широкого спектра микроэлементов. Однако велика роль и глобальных процессов аэрального загрязнения, что неоднократно отмечалось по результатам изучения химического состава древесины, торфяников и ледников мира. Особенно активно геохимическая трансформация биосферы проявляется в почвах благодаря положению на пересечении внутриландшафтных миграционных потоков и ярко выраженной катионной поглощательной способности, что приводит к накоплению и прочному удержанию положительно заряженных ионов. Это объясняет и более активное (в ряде случаев) повышение содержаний металлов в почвах природных ландшафтов. Они отличаются интенсивным биогеохимическим концентрированием и большей сорбционной емкостью.

#### РАСЧЕТ И ОЦЕНКА РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛАРКОВ ПОЧВ И ГОРНЫХ ПОРОД

В целом загрязнение окружающей среды – общемировая проблема, которая отражается даже на таких глобальных величинах, как кларки почв. Если кларки, рассчитанные различными авторами, расположить по времени их определения: А.П. Виноградов – 1940–1950-е гг. [1], А. Кабата-Пендиас – 1960–1970-е гг. [17], Х. Шаклетт и Дж. Борнгам (почвы США) – 1970-е гг. [18], А.Б. Ронов, А.А. Ярошевский и А.А. Мигдисов [15] – 1970–1980-е гг. В.В. Дьяченко (почвы Северного Кавказа) – 1980–1990-е гг. [4], обнаруживается, что концентрации большинства элементов увеличиваются (15 из 25 рассмотренных) и многих

практически последовательно – Zn, Cu, Pb, Ba, Co, Sc и др. (табл. 5).

Равномерность и большой объем опробования (для расчета использовано 5314 проб), в пределах крупной биосферной структуры, какой является Северный Кавказ (площадь опробования более 300000 км<sup>2</sup>), позволяют считать эти данные достаточно объективными. В почвах Северного Кавказа (последних по времени опробования) концентрации Cu, Zn, Pb, Mo, W, Co, Ni в 1.5–3 раза выше величин, взятых для сравнения. В меньшей степени они обогащены Ba, Ge, Mn, Ti, V, Li, Sn, Cr, Sc, Be. Обращает внимание то, что среди элементов, в наибольшей степени обогащающих почвы Кавказа, находятся Cu, Zn, Pb, Mo, W – основные элементы рудных полезных ископаемых. А Cu и Mo, кроме того, входят в состав многих химикатов, применяющихся в сельском хозяйстве. Для всех перечисленных элементов характерно и превышение экологических нормативов по уровню концентрации в почвах региона [4, 5]. Все это может свидетельствовать о металлогенической и техногенной специфике Северного Кавказа.

Для объективной оценки региональных кларков почв Северного Кавказа рассмотрим почвообразующие горные породы. При этом важно отметить, что среди авторов кларков литосферы присутствуют и авторы кларков почв – А.П. Виноградов и А.Б. Ронов, А.А. Ярошевский и А.А. Мигдисов [15]. Сравнение с этими данными (табл. 6) свидетельствует, о том, что региональные кларки горных пород Северного Кавказа (для расчета использовано 2335 проб) в большинстве случаев находятся в интервале, образуемом кларками различных авторов [4].

Это подчеркивает объективность выводов, касающихся как горных пород, так и почв Северного Кавказа, анализ которых производился на

**Таблица 5.** Сравнение среднего содержания микроэлементов в почвах Северного Кавказа с кларками почв мира и США ( $n \cdot 10^{-3} \%$ )

Элемент	Кларки почв				Почвы Северного Кавказа Дьяченко, 2004,
	Виноградов, 1957	Кабата-Пендиас, Пендиас, 1984, 1989	Шаклетт, Борнгем 1984	Ронов, Ярошевский, Мигдисов, 1990	
Ti	460.0	350.0	290.0	370.0	503.0±3.0
Mn	85.0	54.0	55.0	50.0	93.0±1.0
P	80.0	70.0	–	80.0	89.0±1.0
Ba	50.0	21.0–63.0	58.0	50.0	72.0±1.0
Sr	30.0	12.0–68.0	24.0	22.0	21.6±0.4
Zr	30.0	13.0–35.0	23.0	30.0	17.1±0.2
Cr	20.0	6.5	5.4	6.0	10.9±0.1
V	10.0	9.0	8.0	9.0	12.6±0.1
Zn	5.0	6.0	6.0	6.0	10.6±0.1
Y	5.0	1.0–2.2	2.5	2.5	1.98±0.02
Ni	4.0	2.0	1.9	2.0	4.7±0.04
Ga	3.0	2.8	1.7	2.0	1.86±0.01
Li	3.0	3.1–7.3	2.4	3.0	5.55±0.03
Cu	2.0	2.0–3.0	2.5	2.3	5.1±0.1
Pb	1.0	2.5	1.9	2.0	3.5±0.04
Nb	–	2.4	1,1	1.1	1.81±0.02
Sn	1.0	0.45	0.13	0.11	0.56±0.004
Co	0.8	0.85	0.91	0.9	2.01±0.02
Sc	0.7	0.15–1.25	0.89	0.8	0.96±0.01
Be	0.6	0.035–0.27	0.16	0.15	0.39±0.004
Mo	0.2	0.2	0.097	0.2	0.31±0.01
Ge	0.n	–	0.12	0.13	0.21±0.002
Yb	0.033	0.23–0.31	0.31	0.3	0.25±0.002
W	–	0.07–0.27	0.12–0.25	0.1	0.22±0.003
Ag	0.0n	0.005–0.01	0.07	0.01	0.01±0.0001

одних и тех же приборах, в одно и то же время. При некоторой условности сравнения, обусловленной существенными расхождениями в кларках разных авторов, многие особенности распределения химических элементов в почвах совпадают с породами. Например, почвы, как и горные породы, обогащены Sn, W, Pb, Li, Ti и обеднены Ga, Y, Yb, Zr. В обоих случаях субкларковые значения имеют Ag, Sr, P.

В целом горные породы Северного Кавказа обеднены химическими элементами (только Mo, Sn, Pb, W, Li и Ti превышают кларки), а почвы преимущественно обогащены (только Ga, Yb, Y, Zr ниже кларков). Наиболее явные отклонения почв от почвообразующих горных пород обнаруживаются по Ni, Co, Sc, Cr, V, Mn, Cu, Zn. Нетрудно заметить, что большей частью это элементы группы железа, концентрирующиеся в основных породах. Анализ истории развития региона позволяет сделать предположение о возможном

влиянии на обогащение почв вулканической деятельности [2].

Другая особенность, определяющая соотношения микроэлементов в почвах, – рудная специфика региона и загрязнение окружающей среды, формирующееся при добыче и обогащении полезных ископаемых. Эти факторы оказывают особенно большое влияние на перераспределение W, Mo, Sn, Cu, Zn, Pb, Ag и находящихся с ними в парагенезисе или сопутствующих элементов. Зафиксированные геохимические аномалии занимают сотни квадратных километров, что привело к повышению регионального фона многих микроэлементов [4].

Некоторые предположения о природе геохимического своеобразия региона дает изучение ландшафтов с интенсивными сельскохозяйственными технологиями. Они значительно трансформируют естественный геохимический спектр почв. На

**Таблица 6.** Сравнение региональных кларков почвообразующих горных пород Северного Кавказа с кларками литосферы ( $n \cdot 10^{-3} \%$ )

Элемент	Кларки литосферы				Горные породы Северного Кавказа [4]
	Тейлор, [19]	Виноградов, [2]	Беус, [3]	Ронов, Ярошевский, Мигдисов [15]	
Ti	570	450	330	320	366±6
P	105	93	80	70	60±1
Mn	95	100	70	77	73±2
Ba	42.5	65	68	58	52±1
Sr	37.5	34	23	29	30±1
Zr	16.5	17	17	17	12.5±0.3
V	13.5	9.0	7.6	11	8.8±0.2
Cr	10.0	8.3	3.4	9.9	8.8±0.3
Ni	7.5	5.8	2.6	5.8	3.1±0.1
Zn	7.0	8.3	5.1	7.6	6.9±0.2
Cu	5.5	4.7	2.2	4.6	3.7±0.1
Y	3.3	2,0	3.6	2.8	1.5±0.03
Co	2.5	1.8	0.7	2.3	1.21±0.04
Sc	2.2	1.0	1.1	1.6	0.7±0.01
Li	2.0	3.2	3.0	2.7	4.01±0.07
Nb	2.0	2.0	2.0	1.6	1.26±0.03
Ga	1.5	1.9	1.9	1.9	1.38±0.03
Pb	1.25	1.6	1.6	1.6	2.6±0.1
Be	0.28	0.38	0.25	0.35	0.27±0.04
Sn	0.2	0.25	0.27	0.25	0.43±0.01
W	0.15	0.13	0.19	0.12	0.18±0.004

основе их сопоставления с почвами природных ландшафтов можно построить ряды обогащения или обеднения почв в результате сельскохозяйственной деятельности. Почвы агроландшафтов обогащены Cu и Ni (в 1.3 раза) > Mo, P и V (1.2) > Cr, Zn, W и Co (1.1); обеднены – Mn (в 1.3 раза) > Be (1.2) > Sr (1.1). Исходя из анализа этих рядов, повышенное содержание Cu, Ni, Zn, Mo, P, V, W, Co, Cr и пониженное Sr в почвах Северного Кавказа по сравнению с кларками может быть обусловлено геохимической спецификой развитых здесь видов природопользования и загрязнения как техногенных, так и пограничных природных ландшафтов.

В пользу техногенной природы повышения концентраций микроэлементов в почвах региона свидетельствует геоэкологический мониторинг почв городов и промышленных объектов юга России [4, 8, 13, 14]. В результате этих исследований выявлено существенное (1.3–1.5 раза) повышение концентраций микроэлементов в почвах населенных пунктов всего за 8–12 лет промышленного развития на рубеже веков. Рассмотрим, например, города Новороссийск и Геленджик, находящиеся в одинаковых природных условиях (табл. 7).

Уровень загрязнения промышленного Новороссийска выше, но скорость увеличения концентраций химических элементов, точнее комплексного загрязнения, почв Геленджика была существенно больше. Это, безусловно, является следствием активного развития порта (особенно отгрузки металлолома) в конце 1990-х гг., интенсивного строительства, увеличения количества автотранспорта и т.д. Высокая динамика загрязнения характерна и району поселков Южная и Северная Озерейка (10–15 км северо-западнее Новороссийска), где в середине 1990-х гг. велось активное сооружение прибрежной инфраструктуры Каспийского трубопроводного консорциума [6]. Причем, с приближением к источникам загрязнения не только повышаются концентрации химических элементов в почвах, но и ухудшается здоровье проживающих здесь людей [13]. В целом, степень загрязнения городов юга России и прилежащих ландшафтов определяется спецификой техногенной нагрузки и насыщенностью промышленными объектами. Наиболее часто в составе загрязнения почв присутствуют Cr, Ni, Pb, Ag, Cu, Zn, P, Mn, Sn.

**Таблица 7.** Суммарные кларки концентрации микроэлементов в почвах некоторых городов

Селитебные ландшафты	Год опробования	Относительно	
		кларков почв Земли	регионального фона Северного Кавказа
		ΣКк	ΣКк
г. Новороссийск	1991	25.3	4.2
	2003	36.7	13.8
г. Геленджик	1996	14.8	2.3
	2003	29.6	7.1

### ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ЮГА РОССИИ

Для оценки современной динамики микроэлементов сравним результаты опробования почв равнинной части юга России в различные периоды (табл. 8).

В связи с тем, что в равнинной части естественные ландшафты практически отсутствуют, данные табл. 8 преимущественно характеризуют антропогенно измененные ландшафты и свидетельствуют о результатах, как глобального загрязнения, так и конкретной техногенной трансформации. Приведенные выборки не вполне идентичны географически, так как в последней увеличилась доля проб с Прикаспийской низменности, а в первой их не было вовсе. Это могло повлиять на повышение содержания Ti, P и снижение Ba [7]. Тем не менее, очевидно, что тенденции, выявленные на основе изучения материалов конца прошлого века, сохраняются. Из 19 рассмотренных микроэлементов увеличиваются концентрации 17, причем содержания 12 повышаются последовательно. По интенсивности динамики концентраций в почвах региона микроэлементы образуют следующий ряд – Zn, W (увеличение в 2.6 раза) > P, Cr (1.7) > Pb, V, Mo (1.6) > Mn, Ti (1.4) > Ni, Sn, Ge, Sr (1.3) > Co (1.2) > Cu, Ag, Ga (1.1). Снижение концентраций каких-либо элементов не обнаружено.

### ВЫВОДЫ

Все приведенные данные сложно оценить количественно, учитывая природное разнообразие и неодинаковую степень техногенного преобразования региона. Тем не менее, они убедительно показывают наличие существенной динамики концентраций микроэлементов в почвах юга России. Обобщая результаты исследований как техногенных, так и природных ландшафтов, химические элементы можно объединить в несколько групп.

Первую образуют W, Zn, Cr, Pb, Ni, с очевидным увеличением концентраций во всех регионах. Повышение концентраций элементов второй группы – V, Sn, Sr, Co, Ag, Cu, менее интенсивно и однозначно. В третью группу входят микроэлементы с очень контрастным перераспределением в различных ландшафтно-геохимических условиях – Mn, P, Mo. Наконец, четвертую группу образуют микроэлементы с неоднозначной и слабой динамикой – Ti, Ba, Li, Ge, Be, Ga.

Нетрудно заметить, что первую группу и большую часть второй образуют микроэлементы с высокой технофильностью. С этой точки зрения несколько странным выглядит присутствие во второй группе V. Вероятно, это обусловлено резким ростом его технофильности в последние десятилетия [11]. Элементы четвертой группы, со слабой и неопределенной динамикой, отличаются самой низкой технофильностью и биофильностью. В основном это малоподвижные элементы-гидролизаты. Химические элементы, образующие третью группу, характеризуются высокими кларками в живом веществе и переменной валентностью. Первый фактор делает их зависимыми от видового состава и биомассы растительного покрова, степени ее изъятия с урожаем и интенсивности внесения химикатов (в агроландшафтах), в результате чего может формироваться как положительный, так и отрицательный баланс химических элементов. Второй фактор обуславливает зависимость миграции микроэлементов от щелочно-кислотных условий почвенных растворов. Поэтому их распределение контрастно и неоднозначно ввиду разнообразия ландшафтов региона.

Таким образом, анализ динамики микроэлементов в почвах юга России свидетельствует о различной интенсивности и направленности изменения концентраций химических элементов, но для большинства характерно накопление в почвах региона, что приводит к загрязнению и “металлизации” биосферы. Результаты сравнения региональных

**Таблица 8.** Сравнение среднего содержания химических элементов в почвах равнинной части юга России в разные периоды опробования (с вероятностью 95%)

Содержание химических элементов в $n \cdot 10^{-3} \%$									
Cu	Zn	Pb	Ag	Sn	Mo	Ba	Co	Ni	Mn
1978–1984 гг. (3179 проб)									
4.9± 0.02	5.8± 0.02	2.22± 0.006	0.0117± 0.0000*	0.43± 0.000*	0.19± 0.001	45± 0.1	1.68± 0.003	4.1± 0.007	63± 0.1
1989–1998 гг. (4332 пробы)									
5.3± 0.01	10.1± 0.01	3.49± 0.003	0.0105± 0.001	0.56± 0.001	0.33± 0.001	71± 0.1	2.05± 0.08	5.2± 0.01	79± 0.1
2010–2013 гг. (914 проб)									
5.2± 0.01	15.0± 0.03	3.51± 0.01	0.0123± 0.001	0.56± 0.001	0.30± 0.001	56± 0.1	2.00± 0.01	5.5± 0.01	88± 0.2
Ti	V	Cr	Sr	W	Ge	Ga	P	Li	
1978–1984-е годы (3179 проб)									
426± 0.5	10.2± 0.02	8.9± 0.02	16.0± 0.01*	0.11± 0.000*	0.16± 0.000*	1.83± 0.001	64± 0.03*	5.6± 0.002*	
1989–1998 гг. (4332 пробы)									
506± 0.5	14.0± 0.01	13.0± 0.01	22.0± 0.02	0.21± 0.001	0.20± 0.001	1.90± 0.002	95± 0.09	5.8± 0.08	
2010–2013 гг. (914 проб)									
583± 1.2	15.6± 0.03	14.8± 0.03	20.8± 0.04	0.29± 0.001	0.21± 0.001	1.94± 0.004	110± 0.23	5.5± 0.01	

\* – определено по 921 пробе.

кларков почв и горных пород Северного Кавказа с мировыми подтверждают их объективность и своеобразие в части повышенной концентрации многих химических элементов и положительной динамики в почвах в последние десятилетия. Все приведенные материалы свидетельствуют о том, что рост концентраций и изменение соотношений микроэлементов, хотя и отражают взаимодействие различных факторов, сопровождающих развитие региона, но техногенез имеет решающее влияние на их динамику в почвах.

Не должны вводить в заблуждение и не очень значительные масштабы изменения концентраций. Данные закономерности выявлены на основе анализа динамики микроэлементов в верхнем почвенном горизонте крупной биосферной структуры (площадью более 600000 км<sup>2</sup>) за сравнительно короткий срок (12–30 лет). Поэтому увеличение концентрации даже на 10–20% означает накопление в почвах десятков и сотен тысяч тонн дополнительных объемов тяжелых металлов и других химических элементов. Учитывая за-

грязнение нижележащих почвенных горизонтов, а также более высокий уровень концентраций в зонах интенсивного техногенного воздействия, масштабы загрязнения ландшафтов юга России близки к катастрофическим.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-05-96514 р\_юг\_а) и базовой части Госзадания Минобрнауки РФ (проект № 2284).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 327 с.
2. *Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571
3. *Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В.,* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 248 с.
4. *Дьяченко В.В.* Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов-на-Дону: Изд. центр “Комплекс”, 2004. 268 с.



5. Дьяченко В.В., Берг Д.Ю., Данилова С.В. Экологический мониторинг и нормирование металлов в почвах // Вектор науки Тольяттинского гос. ун-та. 2011. Вып. № 2 (16). С. 38–42.
6. Дьяченко В.В., Ляшенко Е.А., Малыгин Ю.А. Эко-системные принципы интегральной геоэкологической оценки селитебных и рекреационных ландшафтов // Научные чтения Института географии СО РАН. Иркутск, 2005. С. 136–139.
7. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю. Фоновое содержание химических элементов в почвах физико-географических областей юга России // Проблемы региональной экологии. 2012. № 4. С. 148–154.
8. Дьяченко В.В., Матасова И.Ю., Rogovskiy V.V. Проблемы техногенного преобразования ландшафтов Российского Причерноморья // Безопасность в техносфере. 2012. № 5. С. 30–36.
9. Евсеев А.В. Изменения во времени фоновых концентраций загрязняющих веществ в различных природных объектах // Вест. МГУ. Сер. геогр. 1988. № 4. С. 35–46.
10. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983.
11. Касимов Н.С., Власов Д.В. Технофильность химических элементов в конце XX – начале XXI века // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской / Под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. С. 143–156.
12. Лукьянченко А.Д., Федоров Ю.А., Хованский А.Д. Миграция некоторых микроэлементов в почвах природных периодически увлажняемых ландшафтов // Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда окружающей среды. Вып. 5. Ростов-на-Дону: Изд. РГУ, 2001. С. 31–32.
13. Малыгин Ю.А., Малыгина А.Г., Дьяченко В.В. Медико-экологические исследования урбанизированных территорий // Безопасность в техносфере. 2008. № 3. С. 16–21.
14. Приваленко В.В., Домбровский Ю.А., Остроухова В.М. и др. Эколого-геохимические исследования городов Нижнего Дона. Ростов-на-Дону: Изд-во ГПП “Южгеология”, 1994. 268 с.
15. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 180 с.
16. Рубилин Е.В. Микроэлементы в почвах Северного Кавказа. Л.: Изд. ЛГУ, 1968. 56 с.
17. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in the Biological Environment// Wyd. Geol., Warsaw, 1979. 300.
18. Shacklette H.T., Boerngen J. G. Element concentration in soils and other surficial materials of the conterminous United States// U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1270, 1984.
19. Taylor S.R. Abundance of chemical elements in the continental crust a new table// Geochim. Cosmochim. Acta. 1964. V. 28. P. 1273–1285.

## POLLUTION WITH TRACE ELEMENTS AND THEIR DYNAMICS IN SOILS OF SOUTHERN RUSSIA

V. V. Dyachenko, I. Yu. Matasova

*Novorossiysk Polytechnic Institute, Branch of the Kuban State University of Technology  
ul.Karla Marksa 20, Novorossiysk, 353900 Russia. E-mail: v-v-d@mail.ru*

The article analyses the monitoring results of chemical elements in soil landscapes of the southern Russian Federation. The investigations have been carried out for over 30 years, which allowed numerous testing of soils in different regions and generating the database comprising more than 9000 samples. The study testified to an increase in the concentrations of chemical elements in the soils as a result of both the global pollution and the impact of particular technogenic objects. The concentrations of W, Zn, Cr, Pb and Ni elements increase most intensely in soils.

**Keywords:** *soils, trace elements, landscapes, pollution, clarks, monitoring.*