

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРИУРАЛЬЯ, ИХ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И АНОМАЛИИ

Копылов И.С.

*Естественно-научный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4), georif@yandex.ru*

В статье рассмотрены условия формирования почвенных ландшафтов в Пермском Приуралье, их закономерности и особенности миграции химических элементов. По результатам геохимического картирования изучено пространственное распределение микроэлементов в почвах, из которых 20 микроэлементов (Pb, Zn, Cd, Be, P, As, Ni, Co, Cr, Mo, Cu, Sb, Mn, V, Ba, Sr, Sn, Ti, Zr, Ga) превышают предельные допустимые концентрации. Составлена карта эколого-геохимических аномалий на почвенной основе. Выделена и охарактеризована 21 комплексная геохимическая аномальная зона. Генетическая природа геохимических аномалий в основном комплексная - природная и техногенно-природная. Основными факторами формирования геохимических полей и аномальных зон являются природные условия - геодинамические (неотектонические), структурно-тектонические, литолого-петрографические, гидрогеологические, геоморфологические, физико-географические (ландшафтные), физико-химические и др. Практически все крупные геохимические аномалии и наиболее контрастные локальные аномалии пространственно совпадают с геодинамическими активными зонами. Результаты геохимического картирования почв могут быть использованы для экологических и экономических проектов развития региона, поисков месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: экологическая геохимия, геохимическое картирование, почвы, ландшафты, микроэлементы, геохимические аномальные зоны, Приуралье.

## REGULARITIES OF FORMATION OF SOIL LANDSCAPES OF THE PRIURALS, THEIR GEOCHEMICAL FEATURES AND ANOMALIES

Kopylov I.S.

*Natural-science institute of the Perm state national research university, Perm, Russia (614990, Perm, Gencelya st., 4), georif@yandex.ru*

The article considers the conditions of formation of soil landscapes in the Perm Priurals, their regularities and features of migration of chemical elements. The results of the geochemical mapping studied the spatial distribution of trace elements in soil, of which 20 microelements (Pb, Zn, Cd, Be, P, As, Ni, Co, Cr, Mo, Cu, Sb, Mn, V, Ba, Sr, Sn, Ti, Zr, Ga) exceeds the maximum permissible concentration. Map of the ecological and geochemical anomalies on the soil matrix. Isolated and characterized 21 comprehensive geochemical anomalous zones. Genetic nature of geochemical anomalies mainly complex - natural and technogenic nature. Major factors of formation of geochemical fields and anomalous zones are the natural conditions - geodynamic (neotectonic) structural-tectonic, lithologic-petrographic, hydrogeological, geomorphological, physical-geographic (landscape), physical-chemical and other. Practically all large geochemical anomalies and the most contrasting local anomalies of spatially coincide with geodynamic active zones. The results of the geochemical mapping can be used for environmental and economic development projects in the region, prospecting for mineral deposits.

Keywords: ecological geochemistry, geochemical mapping, soils, landscapes, elements, geochemical anomalous zones, Priurals.

**Введение.** Одним из важнейших методов определения экологической обстановки природных и урбанизированных территорий традиционно считается геохимический метод. Оптимальной группой показателей площадной оценки экологической обстановки, наряду с другими показателями окружающей среды, является почвенный покров. Почвы являются открытой подсистемой в сложных природных системах геохимических ландшафтов, способной накапливать загрязняющие компоненты, являются первым геохимическим барьером на пути миграции токсичных веществ и их концентрации. Наиболее уязвимым считается первый от

поверхности, гумусовый горизонт. Постоянное поступление микрокомпонентов, как природное, так и техногенное, способно привести к накоплению в нем элементов в концентрациях, опасных для микроорганизмов и растений; последние – могут служить продуктами питания и поэтому быть опасными для здоровья человека.

На Западном Урале и в Приуралья (Пермский край, Свердловская область, Башкортостан), за 50-летний период геохимического изучения верхней части литосферы накоплен огромный объем геохимических данных, в т.ч. – по микроэлементам почвенного покрова. Однако, несмотря на многочисленные разномасштабные геохимические исследования и длительный период изучения, практически отсутствуют региональные геохимические обобщения. Цель настоящей статьи – региональное обобщение геохимических закономерностей в почвах, выделение аномальных зон, знания о которых необходимы для общей геохимической оценки региона, экологических и геологических прогнозов.

**Почвенно-ландшафтные закономерности и особенности миграции химических элементов.** Территория Приуралья (в границах Пермского края) расположена в лесной зоне (зоне тайги), основным типом растительности являются леса, покрывающие склоны и водораздельные пространства, которые занимают более 70% всей площади. Растительный покров подразделяется на три подзоны: среднюю, южную тайгу, хвойно-широколиственные леса, а также районы лесостепи и горной тайги. На рассматриваемой территории выделено 25 типов почв. Распределение типов и видов почв имеет две особенности – зональность почв на дренированных водоразделах и широкую изменчивость в пределах одной и той же зоны в связи с различиями геологического строения, характером рельефа, условиями увлажнения и степенью сельскохозяйственного освоения [6]. Современное почвообразование в регионе характеризуется развитием двух основных процессов – подзолистого и дернового. Поэтому здесь преобладают подзолистые и дерново-подзолистые почвы.

На севере территории, в бассейнах левобережных притоков Камы распространены подзолистые почвы, которые формируются под хвойными лесами среднетаежной подзоны с мохово-кустарничковым наземным покровом, на ледниковых и флювиогляциальных отложениях при избыточном увлажнении. В этих условиях формируются типичные подзолы, сильно- и среднеподзолистые почвы в сочетании с торфяно-болотными. Для них характерна кислая реакция среды, малое количество гумуса и питательных веществ. Южнее широтного отрезка Верхней Камы при смене физико-географической обстановки типичные подзолы начинают замещаться дерново-подзолистыми почвами. В южно-таежной подзоне с разнотравными хвойными и смешанными лесами формируются дерново-подзолистые почвы с более высоким естественным плодородием. В зависимости от соотношения процессов почвообразования они представлены дерново-слабо-средне и сильно-подзолистыми типами, иногда с при-

знаками глееватости в нижних горизонтах с содержанием гумуса в почвах 3-7%. В южной части территории распространен комплекс темноцветных почв Кунгурской лесостепи, представленный серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами, сформированными на карбонатных и гипсовых породах, обогащенных кальцием, с содержанием гумуса 7,5-12%.

Другие типы почв являются азональными и связаны в большей степени с местными условиями. Небольшие площади занимают почвы дерново-карбонатного типа, приуроченные к выходам карбонатных пород на наиболее повышенных элементах рельефа и крутых склонах, распространенные почти во всех районах области, кроме севера. В долинах рек развиты дерново-луговые, аллювиальные и болотно-подзолистые почвы; в условиях повышенного увлажнения и слабого дренажа формируются дерново-глеевые почвы, а при избыточном увлажнении торфяно-болотные почвы, местами торфяники. Региону свойственны болотные почвы трех видов: верховые, переходные и низинные; характерно их мозаичное распространение (на севере занимают большие площади) и различная мощность. В горных районах преобладающим типом почвообразования является горно-таежный тип и связанные с ним широко развитые суглинистые и глинистые дерново-подзолистые, горные подзолистые, горно-лесные бурые, местами маломощные щебенистые почвы, которые более развиты на водоразделах и склонах. В гольцовом поясе развиты горно-луговые, горно-тундровые тундровые и органогенно-щебенистые почвы.

Состав и количество удерживаемых почвой элементов зависит от содержания и состава гумуса, кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности биологического поглощения. Наиболее низкое содержание микроэлементов обнаруживается в песках и супесях, несколько выше – в покровных суглинках и самое высокое – в глинах. Донные отложения, являясь конечным звеном ландшафтно-геохимических сопряжений, интегрируют геохимические особенности водосборной площади, что позволяет по их химическому составу выделить техногенные потоки и оценить степень техногенной нагрузки на водосток и на всю водосборную систему рассматриваемого региона.

### **Методика, основные результаты геохимических исследований, их обсуждение**

Геохимическая характеристика почв приводится по результатам ландшафтно-геохимических исследований (Копылов и др., 2004), многоцелевого геохимического картирования (МГХК-1000 – Г.А. Вострокнутов и др., 2001), регионального геоэкологического картографирования и исследований (ГЭИК-500 – И.С. Копылов и др., 2001) и частично геологического доизучения (ГДП-200) и тематических работ последнего десятилетия [3; 4]. Методика опробования регламентировалась методическими документами [1; 2 и др.]. В каждом пункте пробоотбора (квадратом 50x50 м из 5 точек) отбирались две пробы: одна из гумусового горизонта «А» (глубина 0-0,10 м), а вторая из иллювиального горизонта «В» (глубина

0,15-0,50 м). Аналитические работы выполнялись в лабораториях ИМГРЭ (Москва), УКСЭ (Екатеринбург), Геокарта-Пермь. Спектральным анализом в пробах почв определялись 40 элементов (Mn, Ni, Co, V, Ti, Cr, Zr, W, Mo, Cu, Zn, Pb, Sn, Ag, Au, Bi, Cd, Sb, As, P, Be, Ba, Ge, Ga, Nb, Pt, Y, Yb, Hf, Sr, Ta, Tl, Te, Li, Sc, Hg, La, B, Ce, U), из которых установлено присутствие 31 элемента. Не обнаружены: Au, Bi, Sb, As, P, Pt, Ta, Tl, Te, Hf, Th, U (Sb, As, Bi обнаружены только в техногенных почвогрунтах городов). Результаты спектрального анализа по почвам (верхнего гумусового горизонта «А») представлены в таблице 1, где приводятся содержания микроэлементов в сравнении с кларком в почвах по разным авторам [5] и принятым предельно допустимым концентрациям (ПДК). Распределение содержаний микроэлементов в почвах показано на гистограммах (рис. 1).

Таблица 1. Содержание микроэлементов в почвах Пермского края

Элемент ( $n \cdot 10^{-3} \%$ )	Содержание (по 1730 точкам)				Кларк почв		ПДК	ОДК
	min	max	среднее	Медиана	По А.П. Виноградову, 1962	По Л.Н. Овчинникову, 1990		
Марганец	10	1000	128	90	85	85	150*	
Никель	0,2	105	3,7	3,5	4	11		4**
Кобальт	0,1	7	1,7	1,7	1	1,3	5***	
Ванадий	0	70	9,9	10	10	15	15*	
Титан	10	1000	352	350	460	420	500***	
Хром	0,3	710	29	28	20	—	38****	
Цирконий	0	300	38	35	30	30	30***	
Вольфрам	0	90	0,07	0	—	—	—	
Молибден	0	3	0,13	0,1	0,2	0,2	1***	
Медь	1	200	6,6	5	2	3		6,6**
Цинк	0	70	8,2	7	5	8,4		11**
Свинец	0	400	2,9	2,2	—	4	3*	
Олово	0	100	1,3	1,2	1	1	30****	
Серебро	0	10	0,015	0	0,01	0,01	—	
Кадмий	0	13	0,3	0	0,05	0,05		0,1**
Сурьма	0	0	0	0	—	0,5	0,45*	
Мышьяк	0	0	0	0	0,5	1,2	0,2*	
Фосфор	0	6000	66	0 и 100	80	73	20*	
Бериллий	0	10	0,7	0,6	0,6	0,6	1***	
Барий	0	700	33,3	30	50	50	62,5****	
Германий	0	1,5	0,27	0,2	—	0,1	—	
Галлий	0	5	1,2	1,3	—	2,3	1***	
Ниобий	0	10	1,5	1,4	—	—	—	
Иттрий	0	7	2,0	2	—	5	—	
Стронций	0	200	8,6	7	—	38	60***	
Скандий	0	7	0,8	0,8	—	—	—	

Примечания: \*Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. Минздрав СССР, М., 1982. \*\*Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.020-94. Госкомсанэпиднадзор России, М., 1995. \*\*\*Тяжёлые металлы в системе почва-растение /В.Б. Ильин. АН СССР. Новосибирск, 1991. \*\*\*\* Зарубежные нормы (СП 11-102-97, Госстрой России, М., 1997)  
регионально повышенный фон - Cu, Cr, Co, Zr, Ge, регионально пониженный фон - Sr, Ba, Ti, Ga, Y

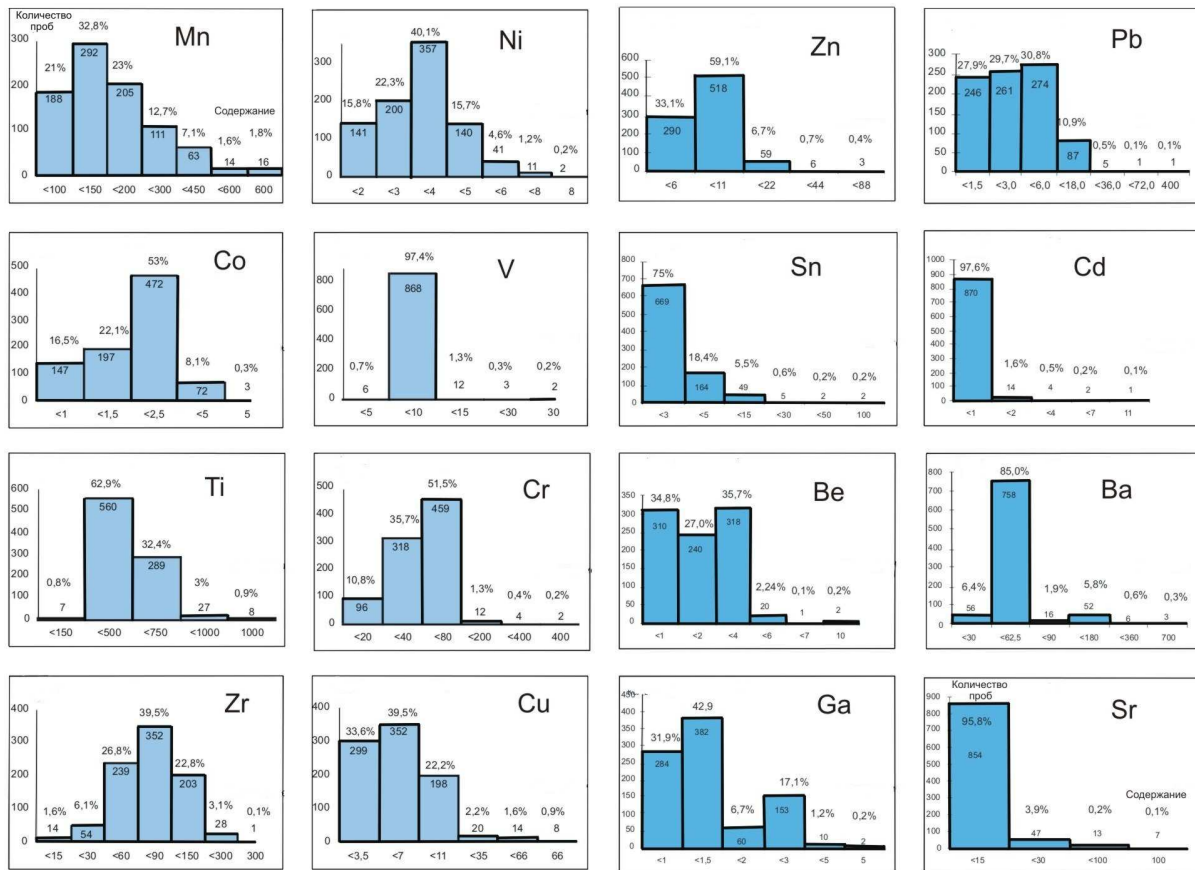


Рис. 1. Гистограммы распределения содержаний микроэлементов в почвах

Для определения влияния факторов на распределение микроэлементов и установления связей между группами микроэлементов пробы почв были распределены на совокупности по литологии, гипсометрии, ландшафтам. Вероятно, в силу того что пробы отбирались с учётом условий однородной среды (преимущественно невысокий рельеф, преимущественно песчано-глинистый тип почв), эти факторы не оказали существенного влияния на распределение элементов (каких-либо существенных корреляционных связей не выявлено).

В результате обработки геохимических данных в почвах изученной территории установлено большое количество различных аномалий с превышением ПДК или ОДК по 20 микроэлементам (Pb, Zn, Cd, Be, P, As, Ni, Co, Cr, Mo, Cu, Sb, Mn, V, Ba, Sr, Sn, Ti, Zr, Ga). Многие аномалии имеют небольшую площадь или зафиксированы по отдельным точкам, другие содержат обширные поля с превышением фона по ПДК. Коррелируемость аномальных полей также различна. Одни аномалии изолированы, другие создают комплексные аномальные зоны и участки. В пространственном отношении основные аномалии сгруппированы в 21 комплексную геохимическую аномальную зону (АЗ). Пространственное размещение их показано на карте почв (рис. 2). В таблице 2 приведены их характеристики, показаны элементы площадного (более 30-50%) и локального (10-30%) распространения, их основные показатели.

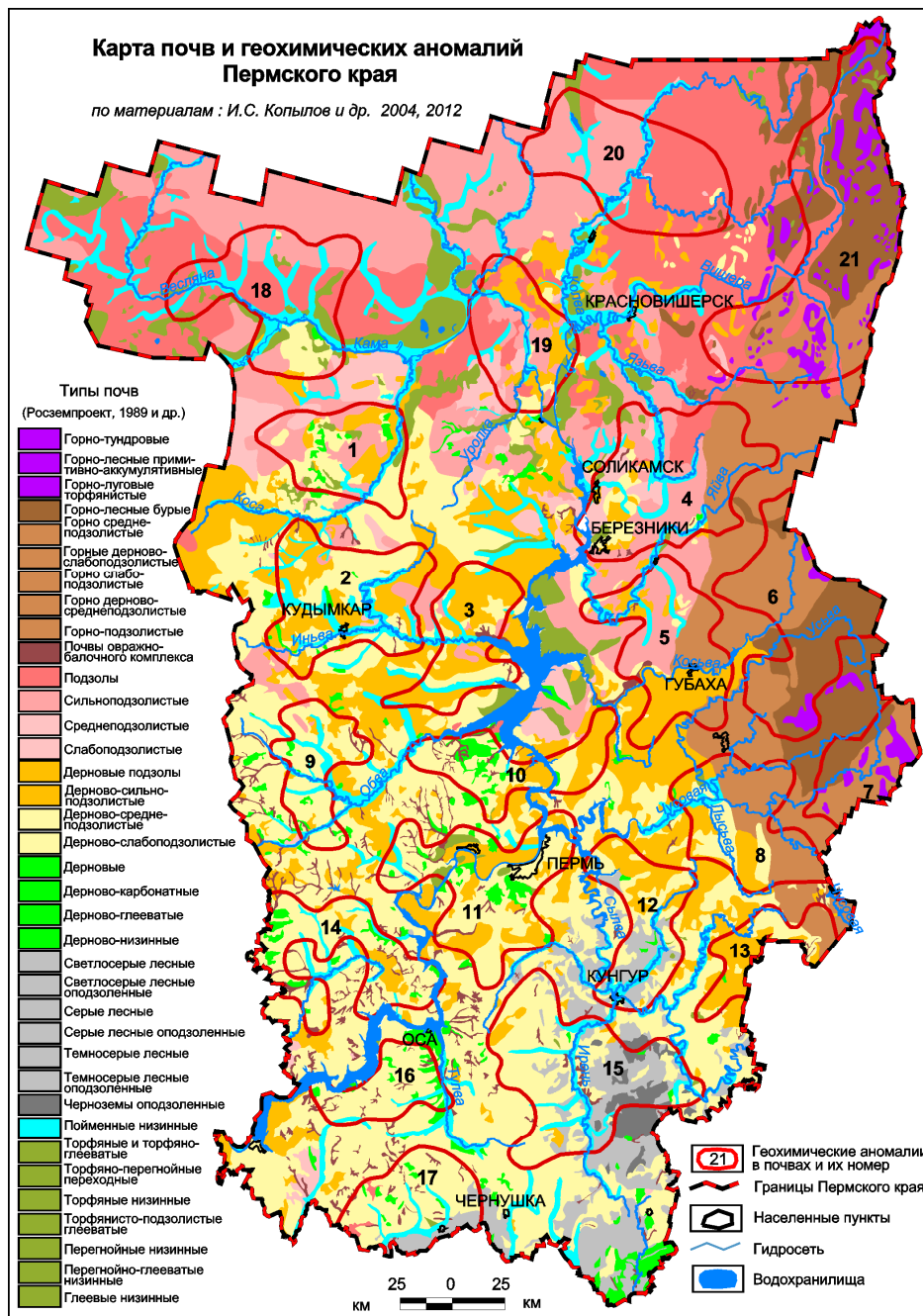


Рис. 2. Почвы и геохимические аномалии Пермского Приуралья и Урала

Генетическая природа геохимических АЗ в основном комплексная. Основными факторами являются природные условия формирования геохимических полей – структурно-тектонические, неотектонические, литолого-петрографические, физико-географические, физико-химические, ландшафтные, гидрогеологические и другие. Поэтому высокий фон многих химических элементов в почвогрунтах, донных осадках, водах обеспечен всем комплексом природных условий. Отмечается приуроченность всех основных геохимических аномалий к зонам тектонических нарушений глубинных разломов, локальным поднятиям; практически все крупные геохимические аномалии (и в их пределах наиболее контрастные локальные аномалии) пространственно совпадают с геодинамическими активными зонами.

Таблица 2. Эколого-геохимические аномальные зоны (в почвах)

Аномальная зона	Площадь, км <sup>2</sup>	Элементы (в скобках - уровень ПДК)	
		площадного распространения	локального распространения
1. Косинская	2579	Mn (1-7), Cu (1-9), Pb (1-3), Cr (1-4), Ti (1-2), Ga (1-3), Zn (1-3), Cd (10)	Ni (1-26), Ba (1-10), Co (1-2), V (1-4), Sr (1-2)
2. Иньвинская	3817	Ga (1-3), Cu (1-5), Pb (1-13), Zn (1-5), Mn (1-2), Ni (1-2), Ba (1-2), Ti (1-2), Cr (1-2)	Cd (10-30), P (1-4)
3. Чермозская	2336	Cr (1-2), Ga (1-2), Mn (1-6), Pb (1-5), Cu (1-23), Ti (1-2), Zn (1-4), Cd (10)	Ni (1-2), Sn (1,0)
4. Яйвинская	4667	Pb (1-133), Ga (1-2), Zn (1-5), Cu (1-30), Mn (1-7), Ti (1-2), Cd (10-130)	Cr (1-4), Ni (1,0), P (1-4), Ba (1-2)
5. Косьвинская	3486	Pb (1-7), Cr (1-3), Ga (1-2), Mn (1-6), Ti (1-2), Zn (1-6), Cd (10-80), Ni (1-2), Cu (1-11), Zr (1-2)	Ba (1-2)
6. Усьвинская	4164	Ga (1-3), Pb (1-7), Zn (1-5), Cr (1-19), Mn (1-3), Cd (10-80), Ti (1-2), Zr (1-2)	Cu (1-24), Ba (1-3), P (10-15), Ni (1-2), V (1,0), Sn (1-3)
7. Койвинская	1768	Ga (1-3), Pb (1-7), Zn (1-3), P (15), Mn (1-4), Cr (1-26)	Cu (1-5), Ba (1-3), Ti (1-2), V (1-2)
8. Средне-чусовская	3007	Ga (1-3), Zn (1-9), Pb (1-3), Ni (1-2), Cr (1-5), Mn (1-3), Cu (1-9), Ti (1-2)	Cd (10-30), V (1-5), Ba (1-2), Zr (1-2)
9. Обвинская	1916	P (5-15), Ga (1-3), Pb (1-2), Ni (1-2), Zn (1-2), Cu (1-2)	V (1-2), Mn (1,0), Sr (1,0)
10. Добрянская	2219	P (5-15), Ga (1-2), Ni (1-2), Pb (1-2), Zn (1-2), Cu (1-2)	V (1-2), Mn (1-2)
11. Среднекамская	3980	P (5-10), Ni (1-250), Cu (1-105), Ga (1-3), Pb (1-1000), V (1-1), Zn (1-27)	Mn (1-3), Cr (1-24), Mo (1-100), Ba (1-2), Ti (1-2), Cd (10-1000), Co (1-400), Sn (1-3)
12. Шаквинская	2437	P (5-15), Ni (1-2), Ga (1-3), Pb (1-2), Cu (1-2), Zn (1-3), V (1-2)	Mn (1-2), Mo (1-3)
13. Верхне-сылвинская	1357	Ga (1-3), P (5-10), Ni (1-2), Cu (1-2), Cr (1-2), Zn (1-4), Mn (1-2), V (1,0)	Pb (1-3), Ti (1-2)
14. Очерская	2837	P (5-25), Cu (1-2), Ga (1-2), Ni (1-2), Pb (1,0), Zn (1-2)	Mn (1,0)
15. Иреньская	4889	P (5-150), Ga (1-3), Ni (1-3), Cu (1-3), V (1-2), Pb (1-2), Zn (1-9)	Mn (1-2), Mo (1-2), Sr (1-3)
16. Тулвинская	1527	P (5-10), Ga (1-2), V (1-2), Ni (1-4), Pb (1-2), Zn (1-2), Cu (1-2)	Mn (1,0)
17. Буйская	2377	P (5-10), Ni (1-3), V (1-2), Ga (1-2), Pb (1,0), Mn (1-2)	Cu (1-2), Zn (1-2), Ti (1,0)
18. Веслянская	4042	Ga (1-2), Ni (1-2), V (1-2), Pb (1-2), Mn (1-3)	Ni (1-3), Ba (1-3), P (1-5)
19. Северокамская	2632	Ga (1-2), Cr (1-2), Pb (1-2), Mn (1-3), Cu (1-3), Ti (1-2), Cd (1-10)	P (1-5), V (1-2), Ni (1-3)
20. Березовская	4265	Ga (1-2), Cr (1-2), Pb (1-2), Mn (1-3), Cu (1-3), Ti (1-2), Cd (1-10)	P (1-5), V (1-2), Ni (1-3)
21. Верхне-вишерская	7991	Ga (1-2), Pb (1-2), Zn (1-2), Mn (1-3), Cr (1-2), Cu (1-3), Ti (1-2), Cd (1-10), Zr (1-2)	P (1-5), V (1-2), Ni (1-3)
Преимущественно- природные аномальные зоны. Преимущественно - техногенно-природные аномальные зоны			

С экологической позиции по преобладанию и с различной долей двух групп факторов – природных и техногенных, все аномальные зоны условно можно разделить на четыре группы: преимущественно природные, техногенно-природные, природно-техногенные, преимущественно техногенные. Анализируя природные и техногенные условия формирования геохимических аномалий [3; 4], к преимущественно природным отнесены: Косинская, Иньвинская, Чермозская, Усьвинская, Койвинская, Обвинская, Добрянская, Шаквинская, Верхнесылвинская, Очерская, Иреньская, Тулвинская, Буйская, Веслянская, Северокамская, Березовская, Верхневишерская геохимические АЗ. К техногенно-природным отнесены: Среднекамская, Косьвинская, Среднечусовская и частично в Яйвинская геохимические АЗ, при этом значительные их части в пределах промзон классифицируются как природно-техногенные. Собственно техногенные аномалии имеют в плане локальный мозаичный характер, к ним относятся техногенные загрязненные участки в пределах любых территорий и зон.

**Заключение.** Выполненный геохимический анализ соответствует региональному уровню масштаба 1:500 000. Достоверность установленных геохимических аномальных зон в почвах имеет высокую степень вероятности. Это подтверждается пространственным совпадением многих геохимических аномалий по разным годам исследований в различных геологических и ландшафтных условиях. Также литогеохимические аномалии подтверждаются гидрогеохимическими аномалиями, в подземных водах отмечено высокое среднее содержание брома и бора с формированием обширных аномальных зон, а также – Ва, Mn, Ti, Sb, Be, Cd, V, Cr, Ni, Pb, Sr, Zn, Co, Mo, что свидетельствует о комплексном характере геохимических аномалий. Основная задача следующего этапа геохимического изучения Приуралья – проведение многоцелевого геохимического картографирования регионально-зонального уровня масштаба 1:200 000 с опорным геохимическим опробованием в районах аномальных геохимических полей.

### Список литературы

1. Вострокнутов Г.А. Временное методическое руководство на проведение геохимических исследований при геоэкологических работах. – Свердловск, 1991. – 143 с.
2. Головин А.А., Ачкасов А.И. и др. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:1 000 000. – М. : ИМГРЭ, 1999. – 104 с.
3. Копылов И.С. Особенности геохимических полей и литогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья // Вестник Пермского университета. Геология. - 2011. - Вып. 1 (10). - С. 26-37.
4. Копылов И.С. Региональный ландшафтно-литогеохимический и геодинамический анализ : монография / LAP LAMBERT Academic Publishing. – Saarbrücken, Germany, 2012. – 152 с.
5. Краткий справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.Е. Мирошников, А.С. Поваренных, В.Г. Прохоров. – М. : Недра, 1977. – 184 с.
6. Назаров Н.Н., Шарыгин М.Д. География Пермской области : учеб. пособие. – Пермь : Книжный мир, 1999. – 247 с.

### Рецензенты:

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.