

УДК 519.2

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Р.Х. Сунгатуллин, Г.М. Сунгатуллина, М.И. Хазиев

Аннотация

Почвы и растительность отражают экологические функции приповерхностных сфер геологического пространства. Среди изученных почв и растительности Набережно-Челнинской площади наиболее емкими биогеохимическими концентраторами являются черноземы и мхи. Методами математической статистики в почвенном и растительном покровах выделены ассоциации «литофильных», «биофильных» и «технофильных» элементов. Выявлена тесная связь между геохимическим составом пород, почв и растительных сообществ. В настоящее время в химическом облике почв и растительности доминирует литологическая составляющая.

Ключевые слова: растительность, почва, биогеохимия, кластерная диаграмма, факторный анализ, экология, модель.

Постановка задачи и объект исследований

Сегодня различными областями знаний широко используется метод изучения экологических функций биотических и абиотических сфер Земли, включая и объекты, рассматриваемые в геологии [1, 2]. Экологический подход относится к общенаучным, которые тесно увязывают в единую систему различные позиции и точки зрения, позволяя приблизиться к выработке геосистемного, многоаспектного взгляда на окружающую среду. Экологизация наук находит свое широкое применение при анализе глобальных и региональных проблем. Исходя из постулата «человеческое общество является составной частью природы», можно утверждать, что для многих урбанизированных и техногенно-преобразованных территорий назрела необходимость изучения природных и антропогенных процессов в геологическом пространстве. Обобщающим методом подобного системного изучения, основанного на взаимосвязности различных процессов («всё связано со всем») в условиях интенсивного техногенеза, может служить моделирование. При этом модели отдельных объектов и сред могут служить основой для интегрального моделирования состояния окружающего пространства [3]. По нашему мнению, разработка методики создания инвентаризационных и прогнозных моделей является актуальной задачей геологии и геоэкологии особенно для территорий, интенсивно преобразованных человеком. Поиск общих закономерностей в разных по размерам объектах геологического пространства может привести к обнаружению качественно новых (эмерджентных) свойств окружающей среды. Это подтверждает вывод В.И. Вернадского, что «одни и те же законы господствуют как в великих небесных светилах и

в планетных системах, так и в мельчайших молекулах...». Другой известный российский ученый Христиан Пандер еще в XIX веке отмечал, что «разнообразие растительных форм связано с разнообразием химических соединений и обусловлено внешними влияниями...». К внешним факторам, определяющим само существование и развитие органической жизни, относится и геологическое пространство, в частности, его поверхностная сфера – литосфера. Последняя обладает ресурсными экологическими функциями для жизнеобеспечения и эволюции биоты [4], выделяясь, в частности, как зона минерального питания растений и почв [5]. При этом состав и биопродуктивность растительного и почвенного покровов определяются многими особенностями литосферы, которые включают вещественный и геохимический состав материнских пород, структурно-геологические и геоморфологические условия, состав и динамику подземных вод, тепловое и газовое поля. Поэтому генетическая интерпретация геохимических полей-моделей в почвенном и растительном покровах с установлением связей между данными средами, а также их взаимоотношений с литосферой, гидросферой и антропосферой является актуальной задачей биогеохимии и геоэкологии как научных дисциплин интегральной геологии [3].

Согласно [6] системные мониторинговые исследования окружающей среды должны включать обязательное изучение биогеохимических объектов, явлений и процессов на эталонных объектах. В данной статье объектом биогеохимических исследований являются почвы (педосфера) и растительность Набережно-Челнинской площади, которая представляет собой наиболее промышленный и урбанизированный узел на территории Республики Татарстан. В геологическом отношении здесь встречаются разнофациальные палеозойские, кайнозойские образования морского, переходного и континентального происхождения. Поэтому данная площадь рассматривается нами как эталонный объект биогеохимических исследований для мониторинга в целом геологического пространства.

Методика исследований

Методика биогеохимических работ включала как стандартные приемы маршрутных наблюдений, документации, опробования [6], обработки и анализа проб, так и оригинальные подходы, в основном при создании геологических и геохимических моделей. Последние описаны нами ранее [3, 7] и здесь не рассматриваются. Математическая обработка результатов анализов проводилась с использованием программного пакета «Statistica». Для геолого-экологической интерпретации полученных результатов биогеохимического опробования использованы данные съемочных работ масштаба 1:50 000 и многоцелевой геохимической съемки по потокам рассеяния масштаба 1:200 000, выполненных авторами на Набережно-Челнинской площади.

Биогеохимические исследования проводились на участках, выделенных по результатам ландшафтного районирования (рис. 1). Почвенное опробование предусматривалось для выделения ареалов техногенного загрязнения и природных гипергенных аномалий. На Набережно-Челнинской площади выделено девять различных типов и подтипов почв: дерново-подзолистые, дерново-карбонатные, коричневато-серые лесные, серые лесные грунтовоглеевые, серые лесные, черноземные, аллювиально-луговые, аллювиально-дерновые и болотные торфяные.

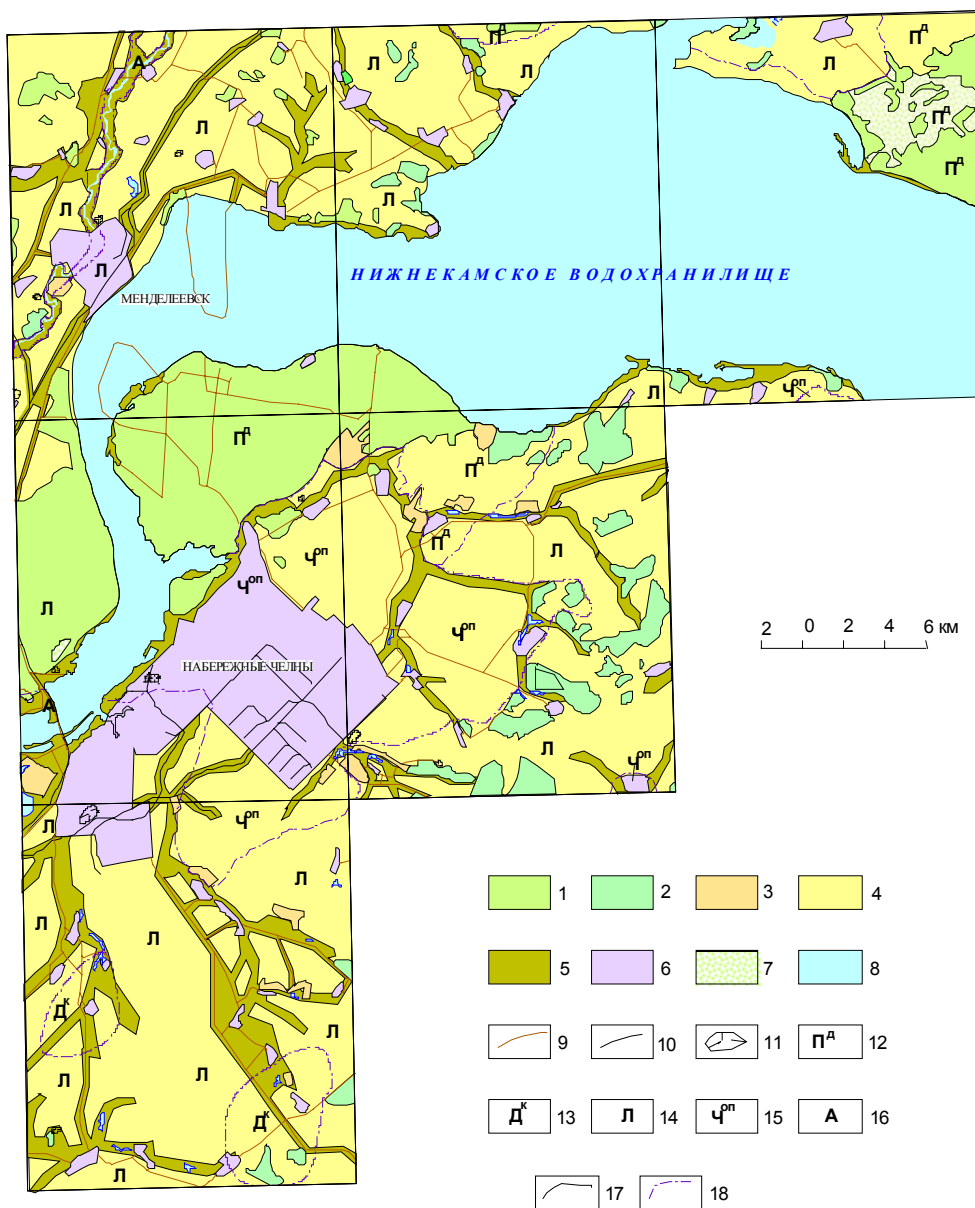


Рис. 1 Карта ландшафтного районирования. Типы ландшафтов: 1 – лесной (хвойно-широколиственный); 2 – лесной (широколиственный); 3 – садовый; 4 – пахотный; 5 – пастбищный; 6 – селитебный; 7 – лесохозяйственный; 8 – аквальный; 9 – автодорожный; 10 – железнодорожный; 11 – горнотехнический. Классы ландшафтов (почвы): 12 – дерново-подзолистые; 13 – дерново-карбонатные; 14 – серые лесные; 15 – черноземы оподзоленные; 16 – аллювиальные; 17–18 – границы: 17 – типов ландшафтов; 18 – классов ландшафтов

Самыми распространенными типами почв являются серые лесные, дерново-подзолистые и черноземы, занимающие более 95% территории (рис. 1). На опорных участках распространения основных типов почв проведено опробование всего почвенного разреза. Горизонты А и В равномерно опробованы на всей изученной площади из копушей глубиной до 40 см. Пробы из горизонтов А и В отбирались по квадратной сетке со стороной 2×2 км. В зонах промышленного и гражданского строительства сеть опробования сгущалась до 1×1 км. Объединенная почвенная проба составлялась из 5 отдельных проб, отобранных способом «конверта» с площадки 20×20 м. Общее количество площадок составило 503, общее количество почвенных проб (для горизонтов А и В) – 1063. При этом плотность почвенного опробования составила 0.8 пробы/км².

Геохимические исследования растительного покрова проводились впервые для Набережно-Челнинской площади. Растительность является чутким индикатором антропогенного влияния на окружающую среду и экологического состояния почвенного покрова. Это позволяет считать геохимическое исследование растительности неотъемлемой и обязательной составной частью комплексных эколого-геохимических исследований. На опорных участках, выделенных по ландшафтному районированию (рис. 1), осуществлялся выбор представительных видов растений, условий отбора, обработки и анализа проб. Опробованию подверглись растения трех ярусов: трава и низшие формы (мхи), кустарники и деревья. Исходным материалом послужили сборы растительности, осуществленные в период с июня по сентябрь месяцы. Всего отобрано 92 пробы.

Анализ биогеохимических проб проводился приближенно-количественным спектральным, атомно-абсорбционным и спектрометрическим методами в лаборатории ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» Министерства природных ресурсов Российской Федерации (г. Казань). Приближенно-количественный спектральный анализ выполнен на спектрографе ДФС-8 на 29 элементов: алюминий, барий, бериллий, бор, ванадий, галлий, германий, железо, иттербий, иттрий, кальций, кобальт, литий, магний, марганец, медь, молибден, натрий, никель, ниобий, олово, свинец, скандий, стронций, титан, фосфор, хром, цинк, цирконий. Содержания мышьяка определялись атомно-абсорбционным методом на спектрометрах Квант-АФА и ААС-IN, а содержания золота – спектрозолотометрическим анализом на приборах ДФС-458 и МФ-2.

Результаты исследований

Рассмотрим основные результаты почвенного опробования.

Серые лесные почвы наиболее распространены, занимая обширные пространства в долине Камы (рис. 1). Лесная почва имеет самый полный и мощный разрез среди всех типов почв. Материнскими породами, на которых сформировались лесные почвы, являются преимущественно глинистые отложения четвертичного, в меньшей степени – пермского и редко неогенового периодов. Выявляется определенная зависимость разрезов почв от состава и возраста материнских пород (табл. 1, 2). Наиболее полные разрезы, в которых присутствуют все выделяемые горизонты и подгоризонты, характерны для почв, залегающих на глинистых четвертичных и нижнеказанских отложениях. Неполные разрезы формируются на глинистых неогеновых и аллювиально-делювиальных отложениях.

Табл. 1

Зависимость разреза серых лесных почв от состава четвертичных пород

		Горизонты, подгоризонты почвы									
Индекс	C	D	A ₁	A ₁ A ₂	A ₂	A ₂ B	B ₁	B ₂	BC		
a ¹ IIIm-05+IV	суглинок светло-коричневый плотный (125)	–	суглинок темно-серый зернисто-плитчатый (40)	–	пылеватый светло-серый, некарбонатный (10)	–	суглинок светло-коричневый, столбчатый, некарбонатный (35)	суглинок серовато-коричневый, столбчатый, некарбонатный (30)	–		
dIII-IV	суглинок светло-коричневый плитчатый или комковатый карбонатный или некарбонатный (30–110)	–	суглинок темно-серый, зернистый, пылеватый или комковатый, некарбонатный (10)	–	пылеватый светло-серый, плитчатый, некарбонатный (3)	суглинок серовато-бурый или коричневатый с белесой присыпкой, плитчатый или зернистый, некарбонатный (15)	суглинок светло-коричневый, комковатый, карбонатный или некарбонатный (10-40)				
sdlIst	суглинок коричневый карбонатный (20)	–	суглинок буровато-серый, зернисто-комковатый, некарбонатный (35)			суглинок бурый с белесыми присыпками, призматический, некарбонатный (40)	суглинок бурый, некарбонатный (40)			суглинок коричневый, бесструктурный, некарбонатный (45)	
a ² IIsk-ms	суглинок коричневый, столбчатый, некарбонатный (30)	–	суглинок коричневатый, зернистый, некарбонатный (5)	песок пылеватый белесый (20)	–	суглинок коричневатый с белесой присыпкой некарбонатный (20)	суглинок светло-бурый, столбчатый или комковатый, некарбонатный (60)			–	
eF	суглинок коричневый плотный (15)	кора выветривания желтоватобелесая муцистая карбонатная со щебнем из-вестняков (10)	суглинок темно-серый, зернистый, некарбонатный (15)			суглинок серый с белесой присыпкой зернистый, некарбонатный (15)	тяжелый суглинок сероватобурый или красноватый, слитый или призматический, некарбонатный (20)	тяжелый суглинок красный, слитый, некарбонатный со щебнем карбонатов (60)		–	
edI-II	суглинок коричневый (50)	–	суглинок серый, зернисто-плитчатый, некарбонатный (10)			суглинок сероватобурый с белесым налетом, призматический, некарбонатный (25)	суглинок красновато-бурый, призматический, некарбонатный (80)			–	

Примечание: в скобках – средняя мощность почвенных горизонтов и подгоризонтов, см.

Табл. 2
Зависимость разреза серых лесных почв от состава дочетвертичных пород

		Горизонты, подгоризонты почвы								
Индекс	C		D	A ₁	A ₁ A ₂	A ₂	A ₂ B	B ₁	B ₂	BC
	глина желтовато-коричневая с карбонатами (10)	глина темно-розовая с карбонатами пятнами и прослоями карбонатной дресвы (40)								
N ₂ bk	глина желтовато-коричневая с карбонатами (10)	глина темно-розовая с карбонатами пятнами и прослоями карбонатной дресвы (40)	–	глина темно-серая зернисто-комковатая (30)	–	глина красно-бурая с белесой присыпкой плитчатой призматическая или зернистая (10)	глина красновато-бурая или бурая с белесой присыпкой плитчатой призматическая или зернистая (10)	глина красновато-бурая или бурая плитчатая-призматическая (30)	глина красновато-бурая или бурая плитчатая-призматическая (30)	суглинок желтовато-коричневый, с карбонатами пятнами (40)
P ₂ tl	кора выветривания мучнистая на известняках розовая или глино красновато-коричневая плитчатая (150)		–	глина серая или буровато-серая зернистая некарбонатная с карбонатной дресвой (20)	–	глина осветленная буровато-серая порошистая (15)	глина осветленная буровато-серая порошистая (15)	глина красновато-коричневая или бурая призматическая (25)	–	–
P ₂ mk	глина коричневая или красновато-бурая карбонатная (20)		песчаник желтовато-коричневый, красный комковатый карбонатный (20–50)	глина коричневая или коричневато-серая зернисто-комковатая или зернисто-плитчатая карбонатная или некарбонатная (10-30)	–	глина буровато-серая (20)	глина буровато-серая (20)	глина или песчаник глинистый коричнево-красные комковатые, плитчатые или зернистые, карбонатные, со щебнем и дресвой (2,5-30)	глина красновато-коричневая плотная (20)	–
P ₂ bt	глина красновато-бурая призматическая (40)	глина грязно-розовая комковатая (25)	глина буровато-красная плотная некарбонатная с карбонатным щебнем и розовыми карбонатными пятнами (45)	песчаник глинистый буровато-серый комковатый некарбонатный с карбонатной дресвой (25)	–	песчаник глинистый светлого-серый (5)	–	песчаник глинистый желтовато-серый (30)	–	–
P ₂ km	глина коричневая с карбонатами включениями (30)		песчаник глинистый красный (10)	песчаник глинистый или глино серые пылеватые (15)	–	песчаник глинистый светлого-серый (5)	глина светлого-серая или коричневая с белесой присыпкой пылеватая (10)	глина серовато-бурая или коричневая зернистая (30)	глина бурая мелко комковатая (55)	–

Примечание: в скобках – средняя мощность почвенных горизонтов и подгоризонтов, см.

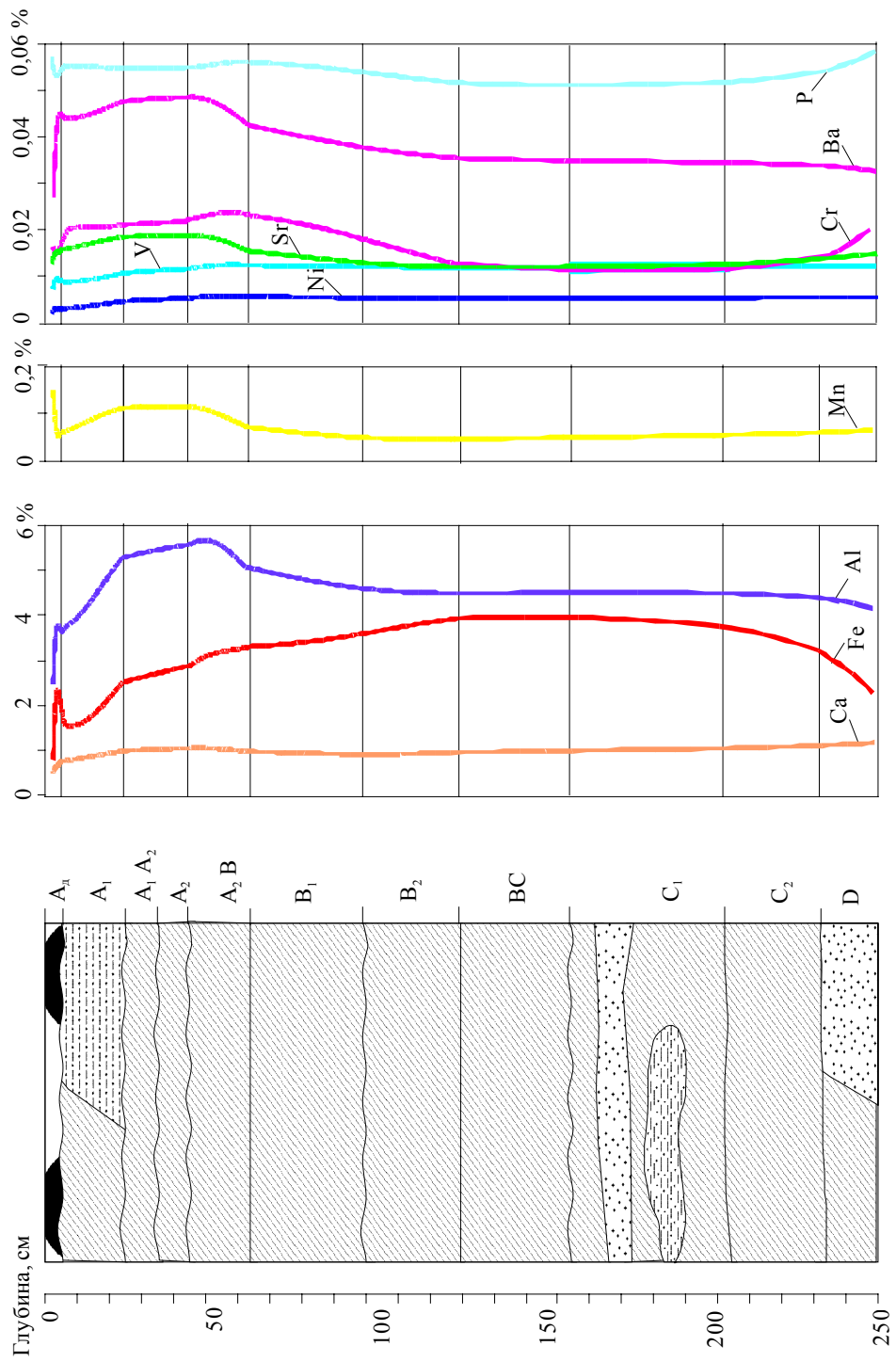


Рис. 2. Пример поведения элементов в разрезе серой лесной почвы

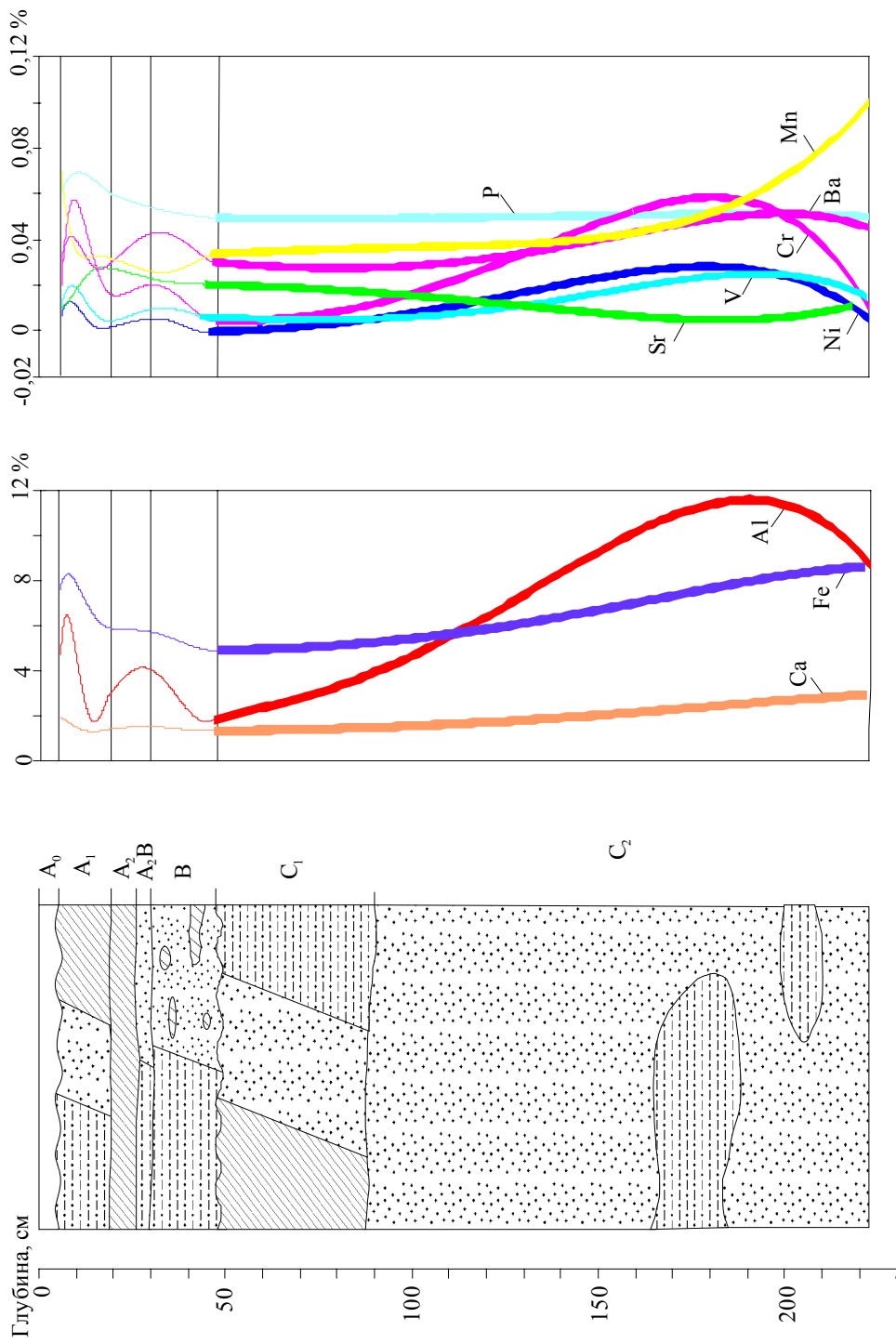


Рис. 3. Пример поведения элементов в обобщенном разрезе дерново-подзолистой почвы

Образование серых лесных почв происходит на эрозионно-денудационных склонах и позднеплейстоценовых поверхностях выравнивания; меньшее распространение они получили на эоплейстоценовых и среднелепистоценовых аллювиальных аккумулятивных равнинах (рис. 1). При анализе поведения химических элементов по разрезу лесной почвы намечаются определенные тенденции (рис. 2). Так, алюминий и марганец преимущественно концентрируются в горизонтах A_2 и A_2B , а максимальные содержания железа приходятся на горизонты BC и C_1 . Верхняя часть почвенного разреза обеднена большинством элементов. Исключение составляют марганец и фосфор, накапливающиеся в горизонте A_d .

Дерново-подзолистые почвы развиты преимущественно в хвойно-широколиственных лесах с мохово-травянистым наземным покровом. Данный тип почв распространен на территории национального парка «Нижняя Кама» севернее г. Набережные Челны и в районе с. Салауш на четвертичных песчаных отложениях различного генезиса. В геоморфологическом отношении подзолы приурочены к эоплейстоценовым и среднелепистоценовым, редко – к позднеплетистоценовым и голоценовым аккумулятивным равнинам и эрозионно-денудационным склонам (рис. 1). Анализ поведения химических элементов по разрезу дерново-подзолистой почвы показывает наличие здесь двух наиболее выраженных уровней концентрации элементов, приходящихся на горизонты C_2 и A_1 (рис. 3). Как и в лесной почве (рис. 2), верхняя часть почвенного разреза подзолов накапливает марганец и фосфор. Кроме того, для горизонта A_1 характерны повышенные содержания хрома. Необходимо отметить равномерное распределение элементов группы железа (Fe, Cr, V, Ni) по всему почвенному разрезу.

Черноземы встречаются в пахотном, селитебном, редко – луговом и пастбищном типах ландшафта (рис. 1). Черноземы характеризуются, по сравнению с лесными и дерново-подзолистыми почвами, небольшой мощностью почвенного разреза. Данный тип почв тяготеет к площадям развития эоплейстоценовых, ранне- и среднелепистоценовых аллювиальных аккумулятивных равнин, реже – к эрозионно-денудационным склонам (рис. 1).

Анализ распределения элементов по основным типам почв (рис. 4) выявил доминирующую роль черноземов в концентрации некоторых элементов. Так, здесь происходит существенное (55–95%) накопление Co, V, Pb, Be, Y, Ni, Nb, Sc, Ge. Дерново-подзолистая почва характеризуется повышенным содержанием биофильных элементов (марганец и барий). В лесных почвах химические элементы накапливаются в значительно меньших количествах, что свидетельствует о «стерильности» лесных ландшафтов. При рассмотрении средних содержаний элементов для всех типов почв Набережно-Челнинской площади (табл. 3) выделены группы элементов, концентрирующиеся в горизонтах A и B. Для первого из них характерны повышенные содержания Mn, P, Pb, Sr, Zn; для горизонта B – Al, Fe, Mg, Ca, Ti. Концентрация литогенных элементов в горизонте B свидетельствует, по-видимому, о важной роли подстилающих пород при формировании геохимического облика почв. Распределение элементов в почвах относительно предельно-допустимых концентраций (ПДК) показывает, что почвы исследуемой площади содержат высокие концентрации мышьяка (более 7 ПДК), повышенные концентрации никеля и цинка (рис. 5). Спектрозолотометрический

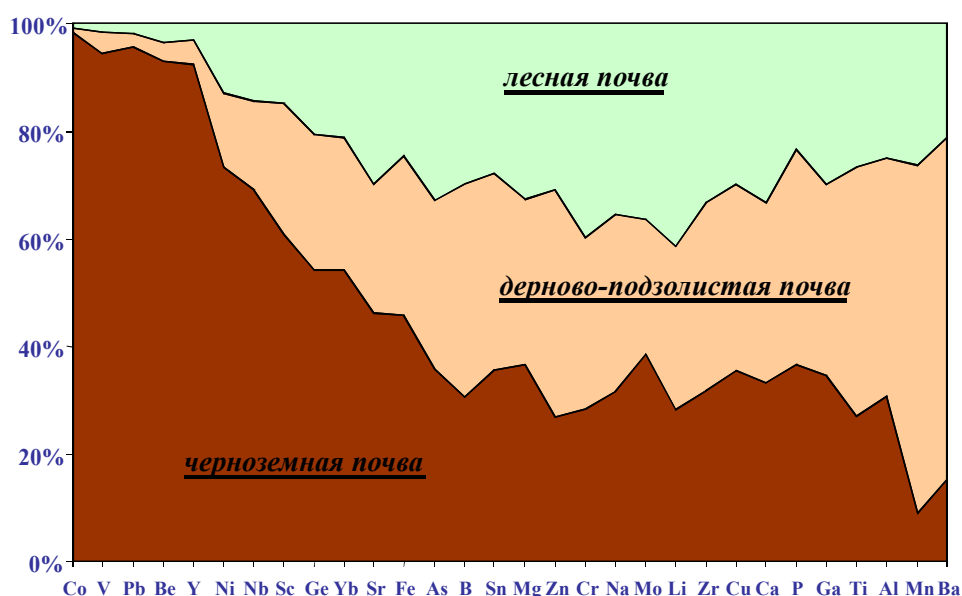


Рис. 4. Распределение элементов в основных типах почв

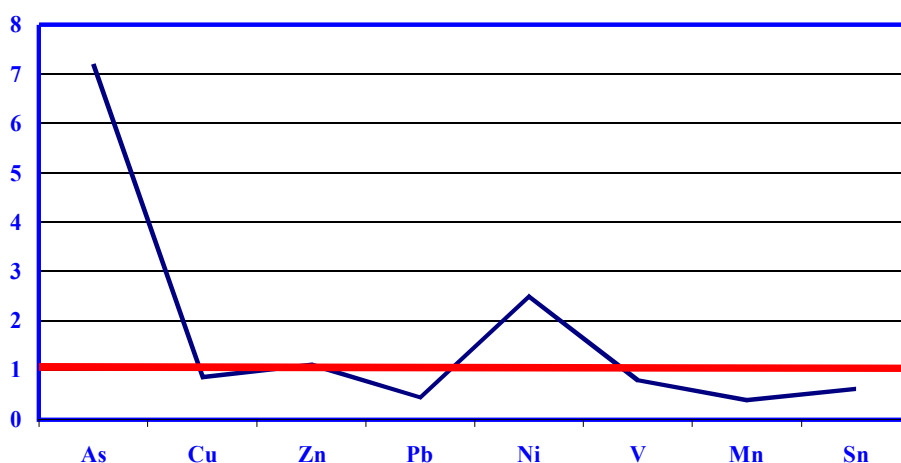


Рис. 5. Распределение элементов в почвах. За 1 принято ПДК элементов в почвах, по [8]

анализ почвенных проб не выявил концентрации золота в определенном типе почв. Содержания золота изменяются от 3.2 до 10 мг/г.

Факторный и кластерный анализы (табл. 4, рис. 6) позволили нам в педосфере предварительно выделить параметры, характеризующие природный субстрат (материнскую горную породу), биологическую и антропогенную составляющие, соответствующие условно «литофильному», «биофильному» и «технофильному» факторам. Наиболее ярко в «памяти» педосферы выражен «литофильный» фактор с общей весовой нагрузкой 27%. Данный фактор формируется за счет Fe, Al, Mg, V, Cu, Li (рис. 6), которые являются литогенными элементами пермских неогеновых глин и алевролитов, четвертичных суглинков. В свою очередь, перечисленные литотипы являются почвообразующими (материнскими) породами на Набережно-Челнинской площади. Необходимо отметить, что

Табл. 3

Средние содержания химических элементов в почвах, г/т

Элементы	Горизонты		Всего для почв
	А	В	
As	13.7	15.1	14.4
Ba	448.4	441.2	444.8
Be	1.6	1.9	1.7
Ca	11361	12733	12046
Fe	24611	28552	26580
Co	14.2	15.4	14.8
B	40.5	41.4	41.0
Sc	11.7	13.1	12.4
P	623.5	561.6	592.6
Pb	14.8	13.4	14.1
Sn	2.8	2.9	2.85
Mg	6924	8094	7508
V	114.5	125.6	120.0
Ga	8.9	9.3	9.1
Mn	627.1	555.5	591.3
Ti	3357	3520	3439
Nb	11.5	11.7	11.6
Cr	219.9	234.6	227.3
Ge	1.3	1.4	1.38
Al	46218	51405	48809
Ni	45.5	54.1	49.8
Mo	2.0	2.3	2.16
Li	37.2	39.4	38.3
Zr	163.9	163.1	163.5
Cu	27.5	29.1	28.3
Yb	3.2	3.2	3.2
Na	5276	5346	5311
Y	24.5	24.6	24.5
Zn	62.6	60.2	61.4
Sr	160.0	152.5	156.2
Количество анализов	532	531	1063

выявленные тенденции, в основном, сохраняются и при анализе отдельных горизонтов. Так, наряду с сохранением преобладающего веса «литологического» фактора в геохимическом облике почв (30% и 29% для горизонтов А и В соответственно), сохраняются общие тенденции для следующих элементов: Al, Mg, Fe, Ni, Co, Sc, Cu, Yb, B, Ga. Модели «литологического» фактора (рис. 7) подтверждают приведенные выше данные о геохимическом родстве горизонтов А и В, хотя существуют и некоторые различия. При переходе от горизонта А к горизонту В (сверху вниз по почвенному профилю) увеличивается сила связи между элементами, что может свидетельствовать о приближении к материнской породе. Подобный вывод подтверждается и тем, что в горизонте А более расширен набор «технофильных» элементов за счет включения Mn, Y, Pb, Zn, Sn, а количество «литофильных» элементов (Al, Mg, Ni, Sc) уменьшается за счет

Табл. 4

Факторные нагрузки в почвах

Элементы	Фактор «литофильный»	Фактор «биофильный»	Фактор «технофильный»
Fe	0.849	-0.058	0.126
V	0.795	0.132	-0.028
Mg	0.773	0.042	0.040
Al	0.759	0.217	0.247
Ni	0.749	-0.030	0.316
B	0.732	-0.005	0.190
Cu	0.729	-0.052	0.133
Ga	0.729	-0.080	0.151
Co	0.673	-0.047	0.205
Sc	0.670	0.298	0.196
Yb	0.667	0.423	-0.130
Ge	0.507	-0.170	0.070
Li	0.504	-0.331	-0.146
Pb	0.402	0.184	0.038
Zn	0.374	-0.030	-0.101
Zr	0.365	0.629	0.247
Y	0.171	0.514	-0.136
Ba	0.363	0.498	0.164
Nb	0.370	0.395	0.254
Ti	0.575	0.369	0.196
Mn	0.433	-0.046	-0.064
Cr	0.224	0.137	0.777
Mo	0.292	-0.170	0.513
Na	0.338	-0.046	0.407
Sn	0.074	-0.022	0.347
Sr	-0.136	0.123	0.167
Ca	0.236	-0.080	0.151
Be	0.069	0.094	0.134
P	0.030	-0.006	0.017
As	0.153	0.009	0.008
Вес фактора	27.2%	6%	6.1%

Примечание: жирным шрифтом выделены значимые нагрузки отдельных элементов в факторах.

их перехода в «биофильную» группу. Модели «биофильной» и «технофильной» составляющих, наряду с общими тенденциями, свидетельствуют о значительном загрязнении почв «технофильными» элементами в районе г. Набережные Челны и КамАЗа. Обращает внимание увеличение (приблизительно в 2 раза) значений «технофильного» фактора, что, по-видимому, подтверждает роль почв как депонирующей среды загрязняющих («технофильных») элементов [8].

Перейдем к анализу биогеохимических исследований растительности. Необходимо заметить, что проведенные биогеохимические исследования по растительному покрову носили опытно-методический характер. В большинстве случаев анализировалось от 1 до 3 проб определенного вида растительности, тогда как для статистических выводов необходимо иметь как минимум 10–15 анализов

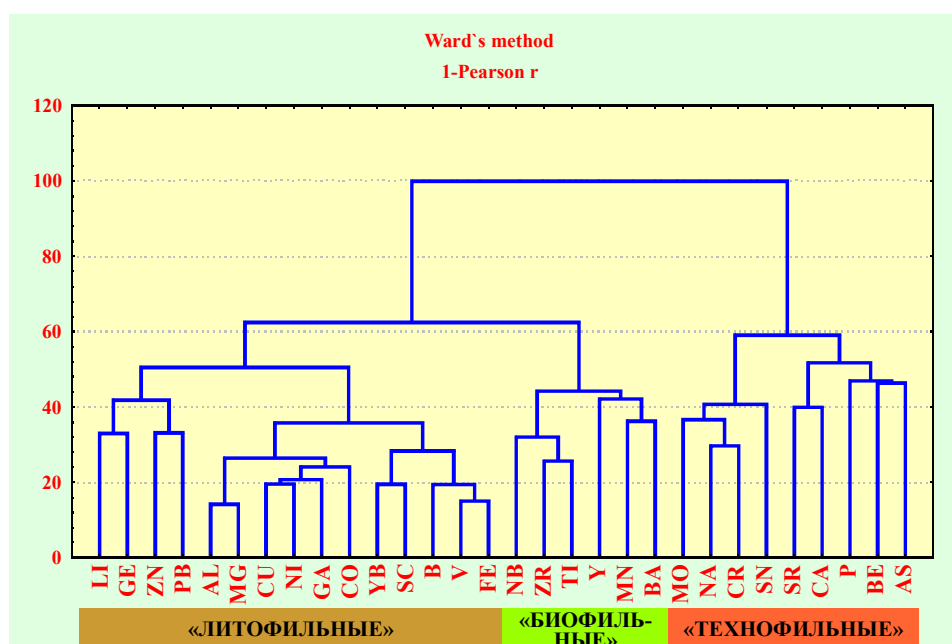


Рис. 6. Обобщенная кластерная диаграмма почв

каждого вида. Поэтому результаты и выводы по биогеохимической характеристике растительного покрова, приведенные ниже, рассматриваются нами как первоначальные и требуют дополнительного подтверждения по представительному опробованию.

Изучаемая территория находится в пределах лесостепной зоны, занятой преимущественно пахотными землями и менее распространенными луговыми, селитебными, хвойно-широколиственными растительными формациями. Леса, в которых доминируют липа, береза, дуб, сосна и ель, образуют массивы площадью от 0.5 до 150 км². Подлесок состоит из рябины, орешника, черемухи. В лесном травостое преобладают сныть, папоротник орляк, копытень, купена, мышиный горошек. Луговая растительность представлена мятликом, осотом, полынью, ромашкой, цикорием и т. д. Селитебный ландшафт характеризуется развитием березы, липы, тополя, ели, сосны, шиповника, костера, крапивы, донника и др. В садовых ландшафтах среди диких видов растений преобладают сурепица, одуванчик, мятлик, полынь, крапива и др.

Анализ ботанической составляющей показывает, что большинство видов растений произрастают во многих типах ландшафтов Набережно-Челнинской площади. Эти виды относятся к сквозным (проходящим) видам, по которым возможно характеризовать экологическое состояние всей площади исследований. Некоторые виды растений распространены в одном или нескольких ландшафтах. Например, герань и орляк характерны для хвойных лесов, копытень и сныть – для широколиственных, рогоз произрастает только в болотистой местности, а крестовник и сусак встречаются исключительно по песчаным берегам рек.

Исследование поведения химических элементов в растениях отдельных типов ландшафтов показало следующее. Наибольшая концентрация химических элементов наблюдается в лесохозяйственном ландшафте в районе с. Салауш.

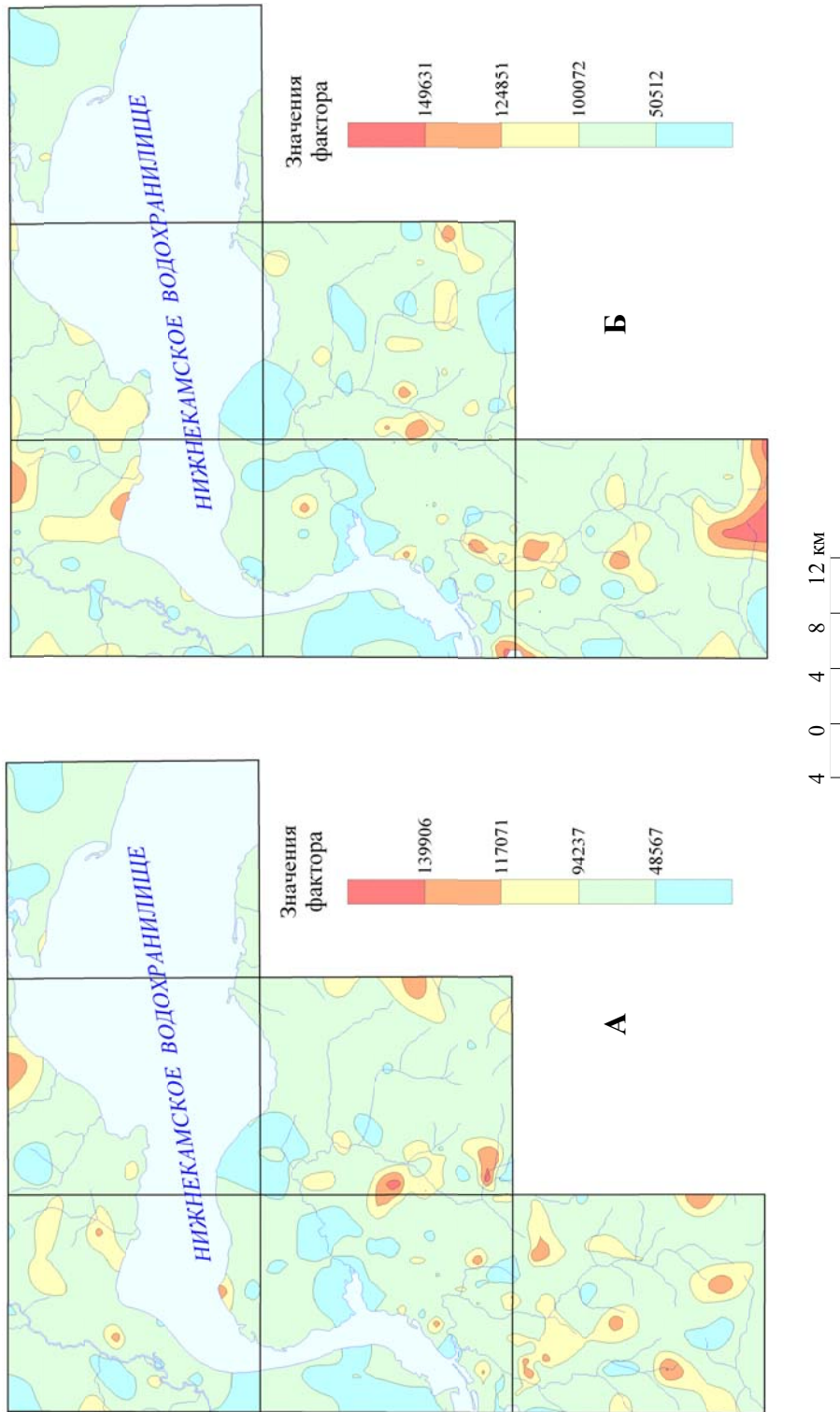


Рис. 7. Модели «литологического» фактора почв: А – горизонт А; Б – горизонт Б; расшифровку фактора см. табл. 4

В произрастающих здесь растениях (сосна обыкновенная, береза повислая, малина обыкновенная, полынь высокая, крапива двудомная, мох и цикорий обыкновенный) установлены повышенные содержания 17 элементов, многие из которых являются токсикантами и канцерогенами (Cr, Pb, As, Co, Sc, Zn, Ga, Ge). Довольно загрязненным является садовый ландшафт. Так, в садах возле с. Ильбухтино в дикорастущих (сурепица прямая, полынь, пастушья сумка, крапива, цикорий) и культурных растениях накапливаются Sr, Pb, Mo, Sc, Ti, Y, Yb, Ge и др. Источником загрязнения, по всей вероятности, являются промзона г. Набережные Челны и автомобильная трасса с интенсивным транспортным потоком. К традиционно неблагоприятным относится селитебный ландшафт. В черте г. Набережные Челны в дикорастущих травянистых растениях (полынь, цикорий, крапива, донник белый, ромашка лекарственная) установлены значительные концентрации Sr, Cu, Nb, Sn, As, Mg, B, P. Высокая степень загрязнения характерна для горнотехнического ландшафта. Так, травянистые растения (мать-и-мачеха, полынь, цикорий, крапива, ромашка), произрастающие в непосредственной близости от Элеваторного карьера известняка, значительно обогащены Sc, Pb, Ga, Ti, Nb, Cu, Mo, Al, Mg. Наиболее «стерильным» относительно концентрации химических элементов является болотный ландшафт. Например, болотные растения (рогоз широколистный, осот шероховатый, хвощ полевой, лютик едкий, полынь и др.) в окрестностях с. Подгорный Такермен содержат в повышенных количествах только мышьяк и литий. Интересно поведение химических элементов в луговом ландшафте, исследованном в районе с. Икское Устье. С одной стороны, произрастающие здесь растения содержат повышенные концентрации Co, Zr, V, Sr, Zn, Yb, что сближает их с растительностью селитебного и горнотехнического ландшафтов. С другой стороны, количество элементов, находящихся в пониженных относительно фоновых значений, содержаниях позволяет относить ландшафт к сравнительно чистым. Аналогичная картина показательна и для лесного ландшафта национального парка «Нижняя Кама», расположенного северо-восточнее г. Набережные Челны. Растительность здесь содержит повышенные концентрации Zn, Sn, Ni, Be, Ge, Ba, P и пониженные – Be, Sc, Ga, Cr, Mo, Li, Yb, Y, Sr. Повышенные концентрации элементов, по-видимому, связаны с воздействием на лесной ландшафт крупных промышленных предприятий г. Набережные Челны.

Изучение химического состава золы растений выявило некоторые закономерности поведения элементов в зависимости от типов ландшафтов, почв и особенностей подстилающих литологических разностей. Сравнение содержания элементов в золе растений исследуемой площади с известными литературными данными [9] показывает следующее. В растениях Набережно-Челнинской площади концентрируются Ca, Sr, Li, As (рис. 8). Накопление кальция и стронция, возможно, связано с широким развитием на площади биармийских (среднепермских) карбонатных и известковистых пород. Концентрация мышьяка, также как и в почвах (рис. 5), по-видимому, обусловлена техногенным загрязнением растительного покрова. Остальные элементы в растениях находятся в рассеянном состоянии; особенно подобное состояние характерно для халькофильных (Cu, Mo, Zn) и сидерофильных (Mn, V, Cr, Co) элементов.

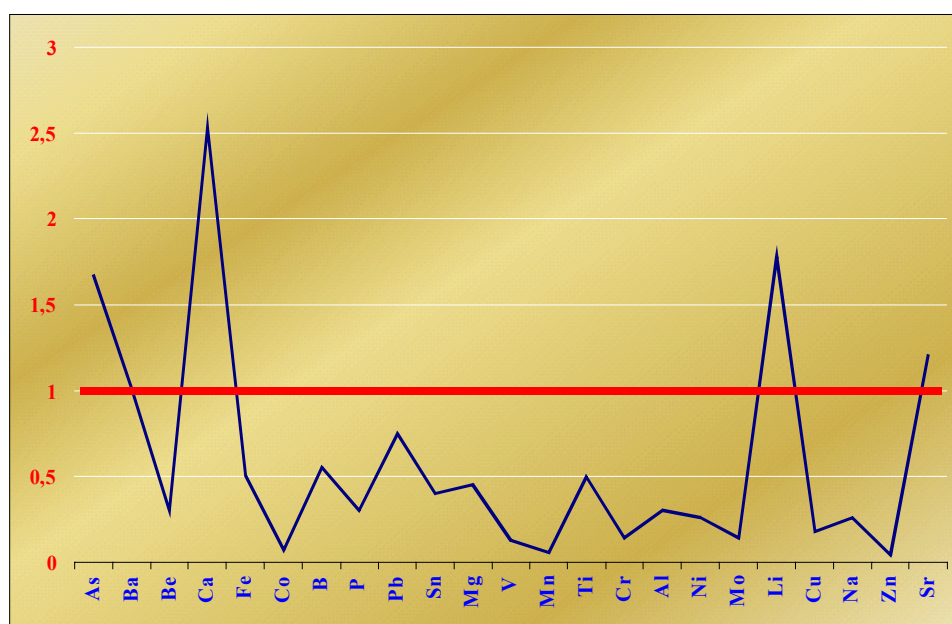


Рис. 8. Коэффициент концентрации химических элементов в растениях. За 1 принято содержание элементов в золе растений, по [9]

Среди изученных растений основным концентратором химических элементов является мох, в золе которого установлены аномальные содержания 19 элементов: As, Sc, Pb, V, Mn, Cr, Ga, Ge, Y, Yb, Zn, Fe, Co, Ti, Ni, Al, Zr, Nb и Li (табл. 5). Ряд растений (спорыш, мать-и-мачеха, копытень, береза, крестовник, малина, чина) характеризуется высокими значениями 10–13 элементов. Некоторые виды (ромашка, пижма, дуб, сусак) практически не концентрируют химические элементы.

Среди макроэлементов, содержащихся в золе растений, особо выделяется Mn, который накапливается в 26 опробованных видах (табл. 5). Данный факт подтверждает отнесение марганца к биофильным элементам и его концентрацию в коре выветривания пермских отложений [7]. С учетом того, что последние занимают около 80% площади исследований, кора выветривания может рассматриваться как зона питания растений марганцем. Некоторые травянистые растения (крестовник, мать-и-мачеха, одуванчик, полынь и др.) содержат повышенные количества Fe, Al и Ti (табл. 5). Из микроэлементов необходимо отметить Co, который накапливается в крестовнике, мхах, спорыше, иве, копытне, мать-и-мачехе, чине, березе и др. Ba, Sc и Ga содержатся в повышенных количествах в крестовнике, мать-и-мачехе, спорыше, герани.

По данным кластерного и факторного анализов химические элементы растений можно объединить в три основные группы (табл. 6, рис. 9, 10). Первую группу составляют Al, Fe, Ti, V, Nb, Zr, Y, Yb, Sc, Be, то есть элементы пермских, неогеновых и четвертичных глин, песчаников, песков. Эти элементы условно можно отнести к «литофильным». Доля «литофильного» фактора составляет более 25% объема всей геохимической информации, заключенной в растениях.

Табл. 5

Среднее содержание элементов в золе растений, г/т

Наименование растений	As	Ba	Be	Ca	Fe	Co	B	Sc	P	Pb	Sn	Mg	V	Mn	Ga	Ti	Nb	Cr	Ge	Al	Ni	Mo	Li	Zr	Cu	Yb	Na	Y	Zn	Sr
Береза повислая	5	2500	0.4	83333	5333	2.7	667	1.2	35000	15	4	45000	22	9333	2.5	600	7	31	0.5	3000.0	30	0.7	18	63	42	0.4	5667	1.5	160	283
Герань	5	1000	0.8	80000	7000	1	150	3	30000	9	2	35000	10	1500	3	500	10	20	1	4000	8	2	10	50	50	0.4	6000	1.5	30	200
Донник белый	5	500	0.6	66667	3333	1.5	450	1.3	18667	5.3	2	21667	9	160	0.8	367	6	27	0.5	3333.3	9	3.2	17	37	28	0.7	5000	1.5	27	517
Дуб обыкновенный	5	500	0.8	100000	5000	1	300	0.5	5000	5	1	30000	7	100	1	700	4	25	0.5	3000	7	2.5	20	50	8	0.8	6000	1.5	30	500
Зонтичное	5	433.3	0.5	76667	6000	0.5	327	1.8	28333	10	2	38333	7	433	2.8	600	6	69	0.5	5333.3	12	2.6	23	60	40	0.7	5000	3.7	43	350
Ива	5	300	0.4	80000	2000	3	80	0.5	30000	10	2.5	30000	60	20000	1	400	4	5	0.5	2000	9	3.5	25	90	20	0.9	15000	1.5	70	400
Копытень европейский	5	500	0.9	80000	10000	3	80	3	8000	6	2.5	35000	15	1000	5	800	8	60	0.5	7000	30	1.5	10	70	30	0.4	6000	9	20	250
Костёр полевой	5	400	0.4	55000	1000	0.5	25	0.5	8000	6	1	15500	2	120	1.3	235	4	23	0.5	1900	10	3	10	20	23	0.4	4000	1.5	40	120
Крапива двудомная	5	2800	0.7	86250	5625	0.9	160	2.1	20250	8	2.9	36250	9	1063	3.4	650	7	54	0.5	7062.5	18	4.2	20	61	48	0.9	4375	4.6	40	825
Крестовник	5	500	0.7	50000	8000	3	300	3	25000	15	2.5	35000	7	2500	7	600	4	60	0.5	9000	8	3	10	70	35	1.5	7000	1.5	70	500
Купена	5	1000	0.4	100000	2000	0.5	80	1	15000	6	1	25000	3	700	2	300	8	30	0.5	1500	10	2.5	10	10	10	0.4	3000	1.5	10	250
Лещина обыкновенная	5	1950	0.6	150000	4000	1.8	750	0.5	29000	8	2	37500	5	7900	3	550	4	39	1.3	1000	33	0.7	15	50	43	0.4	4000	1.5	50	325
Липа сердцевидная	10	600	0.4	80000	2000	0.5	500	0.5	8000	4	1	25000	5	2500	3	500	4	30	0.5	1000	15	0.8	20	60	30	0.4	4000	1.5	40	150
Лопух едкий	15	150	0.7	50000	1000	1	30	1	5000	6	2	15000	3	200	3	100	4	50	0.5	700	9	1	20	10	35	0.8	2000	1.5	50	300
Малина обыкновенная	5	2000	1.2	100000	7000	0.5	250	2	25000	8	4	35000	50	15000	3	800	4	25	0.5	1000	7	2	25	80	35	1.5	10000	15	50	200
Мать-и-мачеха обыкновенная	5	500	0.9	100000	9000	2	150	10	5000	15	2	30000	8	300	8	1500	9	40	0.5	25000	10	5	20	60	40	1	7000	10	50	400
Мох	10	400	0.4	30000	20000	15	50	10	10000	25	2	10000	70	600	10	3500	9	200	1	30000	40	3	30	100	45	3	6000	20	100	40
Мятлик	6	475	0.4	32500	1750	0.6	40	0.8	11750	6	1.6	13750	5	263	1.3	275	5	30	0.75	1700	14	4.5	21	33	38	0.5	3250	1.5	45	100
Одуванчик лекарственный	5	450	0.6	65000	10000	0.8	165	2	22500	8	1	30000	20	350	5	600	8	30	0.5	6500	7	3.5	10	65	28	0.7	6500	5.8	25	400

Наименование растений	As	Ba	Be	Ca	Fe	Co	B	Sc	P	Pb	Sn	Mg	V	Mn	Ga	Ti	Nb	Cr	Ge	Al	Ni	Mo	Li	Zr	Cu	Yb	Na	Y	Zn	Sr
Орляк обыкновенный	5	3500	0.6	55000	2000	0.5	50	0.5	16000	7	2	25000	4	600	0.8	350	7	33	0.5	1900	10	0.9	15	10	38	0.4	5000	1.5	35	275
Осина	5	400	0.7	80000	2000	2	300	0.5	15000	5	1	20000	5	1000	3	300	4	20	0.5	700	10	0.8	10	20	15	0.4	2000	1.5	30	300
Осот шероховатый	5	550	0.5	65000	6000	0.8	270	0.8	50750	5	2	19000	5	2075	2	550	4	40	0.5	4000	8	2.8	50	75	33	1	17000	5.8	20	400
Пастушья сумка	5	500	0.4	80000	4000	0.5	250	0.5	70000	7	1	30000	8	150	1	300	4	20	0.5	2000	5	3.5	20	40	35	0.4	5000	1.5	30	500
Пижма обыкновенная	5	550	0.4	90000	6000	1.3	150	1.3	26500	7	2	27500	5	300	2.8	350	4	30	0.5	3500	6	2.3	23	30	27	0.7	5000	1.5	55	400
Польнь высокая	5	473	0.7	88182	8818	0.9	221	2.4	30727	10	1.7	36818	22	596	2.6	791	8	47	0.5	10318	19	3.6	17	65	49	1.2	5546	7.2	54	368
Рогоз широколистный	5	500	0.4	50000	3000	0.5	150	0.5	8000	5	1	25000	8	400	0.5	300	4	10	0.5	1000	5	2.5	200	60	25	0.4	5000	1.5	50	400
Ромашка лекарственная	5	520	0.7	59000	4800	1	183	1.8	19000	7	2.1	36000	7	460	2.6	430	7	41	0.5	4800	15	3.9	21	42	41	0.8	5900	3	47	445
Ситяг (болотница)	5	400	0.4	50000	5000	1	50	2	25000	8	2.5	15000	7	3000	5	500	4	20	0.5	6000	8	5	20	70	30	1.5	6000	1.5	60	400
Сныть обыкновенная	5	1400	0.5	65000	3000	0.8	375	0.8	27500	7	2.8	50000	6	2250	2.8	350	4	38	0.75	1250	13	2	18	30	38	0.4	5500	1.5	30	200
Сосна обыкновенная	5	500	0.6	75000	5000	2	330	0.8	29000	16	5	27500	23	3250	2.8	600	6	28	0.5	6500	20	1.5	10	75	35	0.7	4000	1.5	90	200
Спорыш	5	500	1.5	65000	17500	3.5	65	10	17500	12	1	40000	85	350	6.5	2000	10	50	0.5	33500	18	3.3	23	75	25	2.3	5500	17.5	55	350
Сурепица прямая	5	250	0.6	80000	4000	1	140	2.5	21000	5	1	17500	6	140	0.8	350	8	11	0.5	1250	3	2.5	25	45	25	0.6	3500	1.5	5	450
Сушак зонтичный	5	200	0.4	50000	3000	0.5	80	1	30000	2	2	30000	5	1500	0.5	200	4	10	0.5	2000	3	2	10	40	25	0.9	5000	1.5	30	800
Хвощ полевой	5	500	0.7	50000	8000	0.5	150	0.5	20000	6	2	80000	5	200	1	300	8	30	0.5	1000	7	4	35	20	25	0.4	8000	1.5	50	250
Цикорий обыкновенный	6	505	0.6	91818	5636	1	238	2.4	24364	9	2.3	41364	8	386	2.5	600	7	38	0.5	8773	12	2.7	33	56	42	0.9	5818	4.9	44	486
Чина	5	700	0.8	90000	14500	2	175	4	12500	5	1.8	32500	16	450	3	1050	7	65	0.5	13500	40	3	18	70	40	0.7	5500	12.5	30	550

Примечание: жирным шрифтом выделены аномальные содержания элементов.

Табл. 6

Факторные нагрузки в химическом составе золы растений

Элементы	Фактор «литофильный»	Фактор «биофильный»	Фактор «технофильный»
Ti	0.936	0.030	0.032
Al	0.925	-0.049	0.141
Sc	0.892	-0.125	0.060
Y	0.870	-0.107	-0.091
Yb	0.834	0.005	0.079
V	0.834	0.193	-0.150
Fe	0.710	-0.038	0.050
Zr	0.672	0.248	-0.062
Be	0.650	-0.091	-0.141
Nb	0.430	0.004	0.123
Zn	0.173	0.838	0.166
Sn	-0.058	0.765	-0.011
Mn	0.031	0.596	-0.284
Pb	0.457	0.576	0.440
B	-0.124	0.476	-0.064
P	-0.195	0.259	0.170
Mg	-0.061	0.170	0.319
Ca	0.045	0.145	0.218
Ba	0.084	0.089	-0.067
Sr	0.106	0.034	0.059
Na	0.118	0.014	0.031
Li	-0.027	-0.007	0.055
Mo	0.083	-0.086	0.817
Cu	0.031	0.251	0.740
Ga	0.677	0.154	0.342
Cr	0.397	0.027	0.115
As	-0.013	0.010	0.112
Ge	-0.007	0.054	0.091
Ni	0.203	0.307	-0.134
Co	0.546	0.278	-0.138
Вес фактора	25.2%	9.1%	6.7%

Примечание: жирным шрифтом выделены значимые нагрузки отдельных элементов в факторах.

По-видимому, именно состав почвообразующих материнских пород является определяющим фактором химического облика растений Набережно-Челнинской площади. Элементы второй группы (Na, Ca, P, Mg, Mn, B и др.) играют важную роль в жизнедеятельности растений. Эти элементы можно выделить как «биофильные». Наконец, третья группа объединяет элементы (Pb, Cr, Ni, Mo, Ga, Ge, Co, As, Cu), которые связаны с промышленно-урбанизированной нагрузкой региона и поступают в растения с пылью, атмосферными осадками и грунтовыми водами. Поэтому данные компоненты отнесены к «техногенной» ассоциации и выделены как группа «технофильных» элементов. Намечается тенденция уменьшения силы связи между элементами при переходе от «литофильной» к «технофильной» группе (рис. 10), что связывается с расширением числа элементов, вовлекаемых человечеством в «геохимический круговорот».

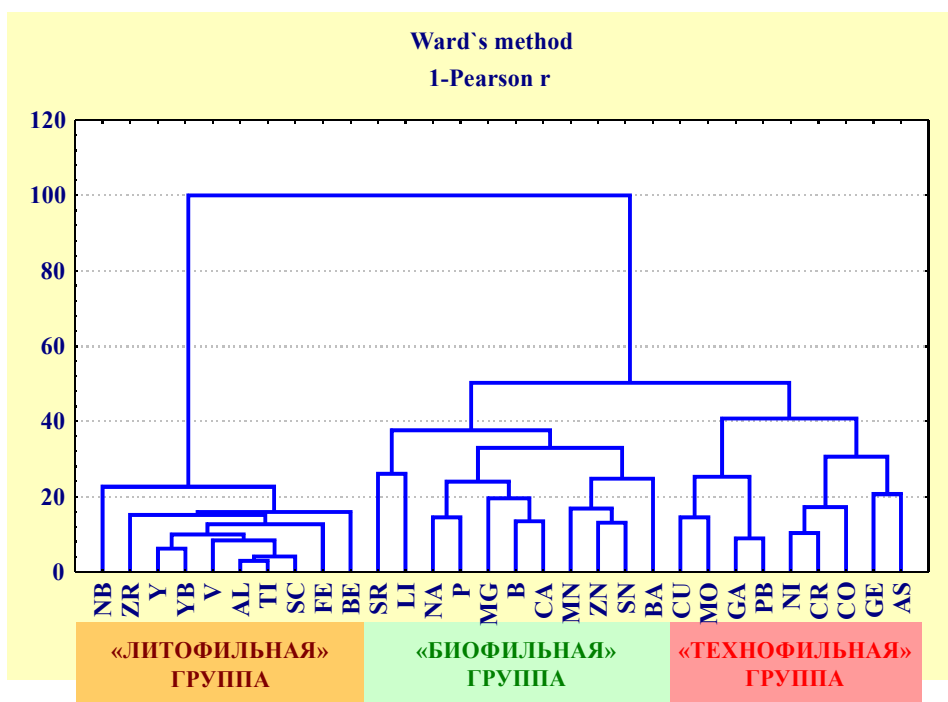


Рис. 9. Кластерная диаграмма элементов в золе растений

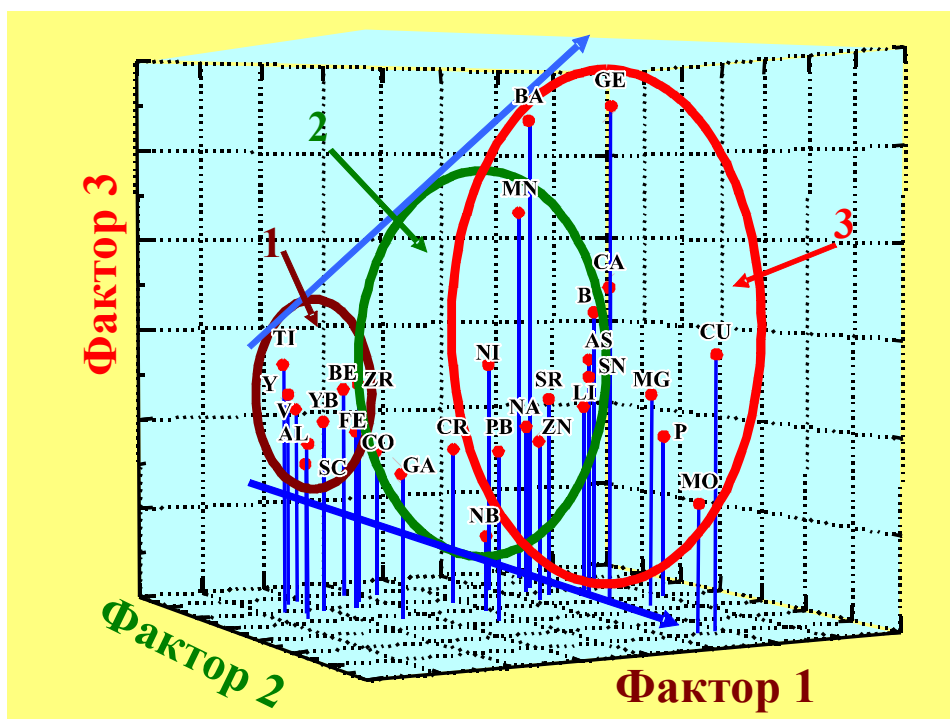


Рис. 10. Факторная диаграмма элементов в золе растений. Факторы (см. табл. 6) и группы элементов: 1 – «литофильный», 2 – «биофильный», 3 – «технофильный»

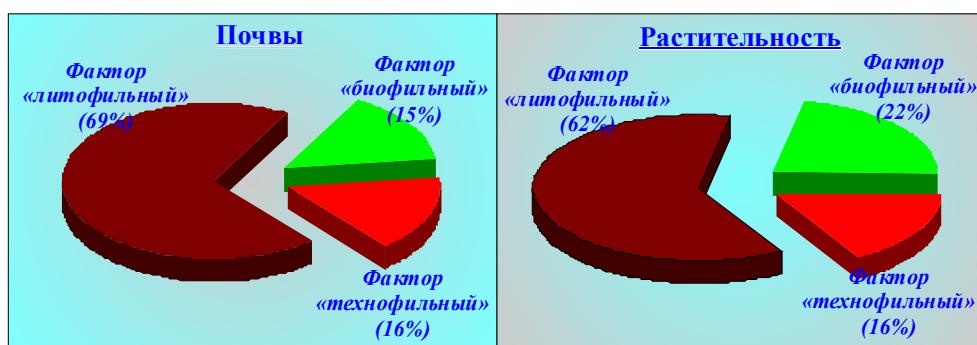


Рис. 11. Соотношения факторов в почвах и растительности

При анализе растений, произрастающих на разных почвах, выявлены их геохимические особенности. Например, на дерново-подзолистых почвах в растениях концентрируются Ba, V, Mn, в меньшей степени – Al и Zn. В растениях лесных почв повышены содержания Li, Y, Sn. На черноземах преобладают растения с повышенными концентрациями Sr, которые значительно обеднены Mn и Ni. Аналогичная тенденция в поведении элементов характерна в основном и для почв (рис. 4), что подтверждает взаимосвязи элементов в этих средах.

Основные выводы

Проведенные биогеохимические исследования на Набережно-Челнинской площади позволяют сформулировать некоторые выводы.

1. Методами математической статистики в почвенном и растительном покрове выделены ассоциации «литофильных», «биофильных» и «технофильных» элементов.

2. С применением компьютерно-математического моделирования выявлена тесная связь между химическим составом пород, почв и растительных сообществ. Вклад «литофильного» фактора в геохимический облик почвенного и растительного покровов, по сравнению с «биофильным» и «технофильным» факторами, является доминирующим, составляя более 60% (рис. 11).

3. Среди почв доминирующая роль в концентрации химических элементов принадлежит черноземам.

4. К относительно чистым ландшафтам относятся болота. К наиболее неблагоприятным относятся лесохозяйственный, садовый и селитебный ландшафты, которые подвержены атмо- и гидрохимическому воздействию промышленных предприятий и городов Набережные Челны, Менделеевск.

В заключение отметим, что биогеохимическая информация необходима при системном изучении различных сфер Земли с целью получения эмерджентного знания о геологическом пространстве. Напомним здесь пророческие слова В. И. Вернадского: «Изучение биохимических явлений, в своем возможно глубоком подходе, вводит нас в область неразрывного проявления явлений жизни и явлений физического строения мира, в область новых построений научной мысли будущего. В этом глубокий, и научный и философский, жгучий современный интерес проблем биогеохимических».

Summary

R.Kh. Sungatullin, G.M. Sungatullina, M.I. Khaziev. Biogeochemical Research of Geological Space.

Soil and vegetation reflect ecological functions of near-surface spheres of geological space. Among the Naberezhnye Chelny area soils and vegetation studied, the most significant biogeochemical concentrators are black soils and mosses. Using mathematical statistical methods, associations of “lithophilic”, “biophilic” and “technophilic” elements have been specified in soil and vegetation covering. A correlation has been revealed between geochemical structure of sediments, soils, and vegetation communities. Currently, lithological compound dominates in chemical structure of soils and vegetation.

Key words: vegetation, soil, biogeochemistry, cluster diagram, factor analysis, ecology, model.

Литература

1. Трофимов В.Т. Об экологических функциях абиотических сфер Земли // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. – 2005. – № 2. – С. 59–65.
2. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. – 432 с.
3. Сунгатуллин Р.Х. Интегральная геология. – Казань: Изд-во ООО «Образцовая типография», 2006. – 142 с.
4. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологические функции литосферы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. – 1997. – № 5. – С. 8–17.
5. Бгатов В.И. и др. Экологическая геология, объект изучения и картографирования // Отечеств. геол. – 1996. – № 5. – С. 4.
6. Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию масштаба 1:50000 – 1:25000. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. – 127 с.
7. Сунгатуллин Р.Х. Комплексный анализ геологической среды (на примере Нижнекамской площади). – Казань: Мастер-Лайн, 2001. – 140 с.
8. Головин А.А. и др. Оценка ущерба окружающей среде от загрязнения токсичными металлами. – М.: ИМГРЭ, 2000. – 134 с.
9. Войткевич Г.В. и др. Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1970. – 280 с.

Поступила в редакцию
20.09.07

Сунгатуллин Рафаэль Харисович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры региональной геологии и полезных ископаемых Казанского государственного университета.

E-mail: Rafael.Sungatullin@ksu.ru

Сунгатуллина Гузаль Марсовна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры исторической геологии и палеонтологии Казанского государственного университета.

E-mail: Guzel.Sungatullina@ksu.ru

Хазиев Марсель Ильгизович – начальник геологического отдела ООО «Татарстангеология».

E-mail: tatgeo@nm.ru