

O que é geoquímica de paisagem?

Nicolai Mirlean*
Rossana Madruga Telles*
Gerusa Maria Duarte**

Resumo

A geoquímica de paisagem é um ramo das ciências geográficas, criado e desenvolvido na Rússia no século XX, que estuda a paisagem no nível dos elementos químicos. Possui sua classificação hierárquica que inclui parâmetros biogênicos e abiogênicos de paisagem. O mapeamento geoquímico de paisagens serve para fins aplicativos na agricultura, proteção do meio ambiente, geografia médica, prospecção de minérios entre outros. A aplicação deste método de análise em áreas tropicais e subtropicais tem sido restrita. Será então relevante o desenvolvimento de estudos geoquímicos de paisagens nessas áreas, que paralelamente terão grande valor teórico e aplicativo para a geografia contemporânea.

Palavras-chave: Geoquímica de paisagem, paisagem elementar, classificação de paisagem, mapeamento geoquímico.

What is geochemistry of landscape?

Abstract

Geochemistry of landscape is an area within the Geography that was created in Russia on the 20th century. It investigates the landscape at the chemical elements level and has its own classification of landscapes based on both biotic and abiotic

* Professores do Dept. de Geociências da FURG (dgeomir@furg.br).

** Professora Doutora do Depto. de Geociências e PPGG da UFSC (gerusa@mbox1.ufsc.br).

parameters. Geochemical mapping of landscapes has applications in agriculture, environmental protection, medical geography and ore prospecting. The application of this method in tropical zones has not been propagated yet. The development of landscape-geochemical studies in these zones will have significant theoretical and applied value for the modern geography.

Key words: Landscape geochemistry, elementary landscape, landscape classification, geochemical mapping.

Introdução

A “paisagem” é uma idéia fundamental para a geografia, assim como “elemento químico” é para a química e física, “organismo vivo” para a biologia e “mineral” para a geologia.

A percepção da paisagem como uma unidade estrutural da superfície da Terra e da complexidade do funcionamento dos sistemas ecológicos configurou-se no final do século XIX e, por direito, pode ser considerada como um avanço significativo da ciência geográfica do século XX.

Ainda no final do século XIX o geólogo russo Vladimir I. Vernadski, estudando o ciclo dos compostos químicos, observou que organismos vivos necessitam da participação de minerais, além da matéria orgânica, para sua constituição. Observou também que os organismos decompõem a matéria orgânica fazendo-a retornar à condição original inorgânica. Vernadski criou então o termo *biocosnaia sistema*¹ para designar este sistema indissociável de elementos bióticos e abióticos que mantêm ligações muito estreitas entre si, uma vez que se interpenetram e são interdependentes.

O grau de complexidade de uma paisagem é dado pelo nível de organização da matéria. Nela destacam-se vários níveis de

¹ O termo *biocosnaia* foi posteriormente traduzido por E. Odum (1963) como *bioinert*, o que talvez não seja adequado, pois eventualmente pode passar ao leitor uma idéia oposta ao significado proposto por Vernadski.

sistemas, de tal forma que os níveis mais baixos constituem subsistemas da paisagem como: a baixa atmosfera, as águas superficiais, o solo, a crosta intemperizada, as águas subterrâneas, sendo cada um desses subsistemas objeto de estudo de uma ciência específica (meteorologia, geologia, pedologia, etc). A interação entre esses subsistemas origina novos atributos, novos sistemas formando um complexo natural denominado paisagem, e para seu estudo surgiu a Ciência da Paisagem².

O início do Século XX é marcado pelo rápido desenvolvimento do conhecimento científico sobre o átomo, simultaneamente, surgem a Geografia da Paisagem e a Geoquímica de Paisagem. A Geografia da Paisagem³ focava seus estudos na fisiografia das paisagens existentes na superfície da Terra, enquanto que a Geoquímica da Paisagem visava compreendê-la no nível dos elementos químicos, ou seja, a geoquímica de paisagem incorporou o objeto de estudo da Geografia Física e o método de estudo da Geoquímica.

A Geoquímica de Paisagem como ciência independente surgiu na Rússia na década de 20 do século XX, sendo hoje uma das áreas que se desenvolve progressivamente na Geografia Russa. O Centro de Estudos Geoquímicos de Paisagem situa-se na Faculdade de Geografia da Universidade Estatal de Moscou. Durante os últimos 50 anos foram publicados vários manuais e livros sobre a geoquímica de paisagem; existem cursos e disciplinas de Geoquímica de Paisagem com laboratórios e departamentos em várias outras Universidades da Rússia e outros países da Europa Oriental. Os estudos de geoquímica de paisagem

² Tradução para o termo “*Landschaftovedenie*” inicia-se no final do Século XIX na Rússia como uma Geografia Física Complexa a partir dos trabalhos do edafólogo russo V.V. Dokoutchaev formulador dos pressupostos da pedologia científica, considerado o fundador da escola geográfica soviética;

³ A geografia da paisagem analisa a espacialização dos elementos, sua forma e magnitude, sejam morfológicos, vegetais, agrários, entre outros.

encontram sua aplicação prática em prospecção de jazidas em geologia, em estudos ambientais, em geografia médica, etc.

A divulgação dos métodos de trabalho e dos conhecimentos acadêmicos produzidos nessa área do conhecimento foram bastante limitados tanto na Europa Ocidental como nas Américas, em virtude das dificuldades impostas pelas questões geopolíticas do mundo bipolar.

O objetivo deste artigo é ampliar a divulgação entre os geógrafos, das bases conceituais e avanços do conhecimento da paisagem sob o prisma geoquímico, bem como, despertar o interesse sobre a geoquímica de paisagem em países de língua portuguesa.

As idéias básicas da geoquímica de paisagem

A primeira definição de paisagem geoquímica é de B.B. Polynov (1956). Polynov começou o estudo de paisagem com base nos estudos do edafólogo V. V. Dokoutchaev (1899, 1948), que introduziu uma abordagem sistemática a partir da noção de complexo natural territorial, ou seja, os pressupostos da pedologia científica.

Primeiramente, Polynov formulou a idéia de paisagem elementar em 1915, mais tarde diferentes geógrafos utilizaram outros termos para se referir à paisagem elementar de Polynov: “fácies” – L.S. Berg (1945), “biogeocenose” – V.N. Sukashev (1975). No entanto, a essência dessa idéia na geografia ainda não mudou: Paisagem Elementar – *é uma área da superfície da terra representada por um determinado tipo de relevo, composta por um tipo de rocha ou sedimento e coberta em cada momento de sua existência por uma comunidade vegetal.*

A característica específica da paisagem elementar é não apresentar causas internas que possam limitar o seu tamanho, por isso suas dimensões podem variar de algumas centenas de m² a centenas de km². Quando as formações na superfície da Terra têm fatores internos que limitam seu tamanho, como por exemplo, um cupinzeiro é limitado pela atividade biológica do cupim, ou ainda,

uma duna é limitada pelas propriedades física da areia, em ambos os casos, temos elementos estruturais ou detalhes da paisagem elementar e não uma paisagem elementar em si.

A paisagem elementar está dividida em níveis (ou patamares), representados por “corpos naturais”: a parte superior da superfície da terra (atmosfera e organismos vivos), os solos, a crosta intemperizada e o lençol freático.

A fronteira superior da paisagem elementar fica na troposfera (até o nível de distribuição da poeira de origem terrestre) e a fronteira inferior corresponde ao nível do lençol freático (incluso). O perfil vertical de uma paisagem elementar, limitado por suas fronteiras, apresenta diferenciações ao longo de sua extensão, pois os elementos químicos migram ao longo do mesmo.

A diferenciação brusca de matérias e condições físico-químicas no perfil vertical da paisagem elementar – é uma peculiaridade característica desta paisagem, da sua estrutura. O horizonte húmico do solo pode ser considerado como sendo o “núcleo” ou “centro” da paisagem elementar, pois é nele que ocorrem os fluxos verticais dos elementos químicos e que fornecem informações tanto das componentes mineralógicas quanto das componentes biológicas. A composição química do horizonte húmico é o resultado final de processos biogênicos e abiogênicos influenciados diretamente pelas condições climáticas locais.

Por sua posição no relevo e por seu papel específico na redistribuição de matéria as paisagens elementares dividem-se em dois grupos principais: *autônomas* e *subordinadas*.

As paisagens *autônomas* (eluviais) recebem matéria principalmente através das precipitações atmosféricas⁴, enquanto as paisagens *subordinadas* (ou acumulativas, que ficam

⁴ O aporte de matéria numa paisagem autônoma está principalmente representado pelas precipitações, em menor proporção pode ser considerada a contribuição biológica (excrementos, restos de organismos, ou algum material transportado).

normalmente em vales e nas partes mais baixas das encostas) recebem matéria oriunda das paisagens autônomas.

Com o desenvolvimento da base teórica da geoquímica de paisagem e com estudos progressivamente mais detalhados novos tipos de paisagens foram identificados, as encostas foram divididas em *transaluviais* (parte mais alta) e *transaluviais-acumulativas* (parte mais baixa).

As paisagens acumulativas dos vales dividem-se em *sobre-aquáticas* (quando a fronteira superior do lençol freático chega ao horizonte húmico do solo) e *sub-aquáticas* (lagos, rios, banhados).

As paisagens elementares autônomas e acumulativas constituem associações ligadas entre si e são indissociáveis.

Em áreas em que ocorre escoamento superficial de água, o conjunto de interflúvios, encostas, vales e bacias de drenagem, formam uma unidade de elementos intrinsecamente relacionados, a que B.B. Polynov (1956) denominou Paisagem Geoquímica. ***“Paisagem Geoquímica é uma associação paragênica das paisagens elementares em interação que se apresentam ligadas entre si por migração dos elementos químicos”*** (PERELMAN, 1975).

A cada combinação resultante (em conformidade com as leis da natureza) de uma ordem natural de paisagens elementares chama-se conjunção geoquímica de paisagens geoquímicas (Figura 1).

Sob o ponto de vista geoquímico, as paisagens autônomas constituem o centro das paisagens geoquímicas – essa paisagem elementar determina as características geoquímicas de todas as outras paisagens elementares do conjunto.

Classificação geoquímica das paisagens

A classificação hierárquica detalhada das paisagens geoquímicas foi elaborada por A.I. Perelman nos anos 50-60 (PERELMAN, 1961, 1975). A classificação está baseada nas idéias sobre os processos principais de migração de matéria na superfície da terra e no papel fundamental da matéria viva na transformação da superfície da Terra.

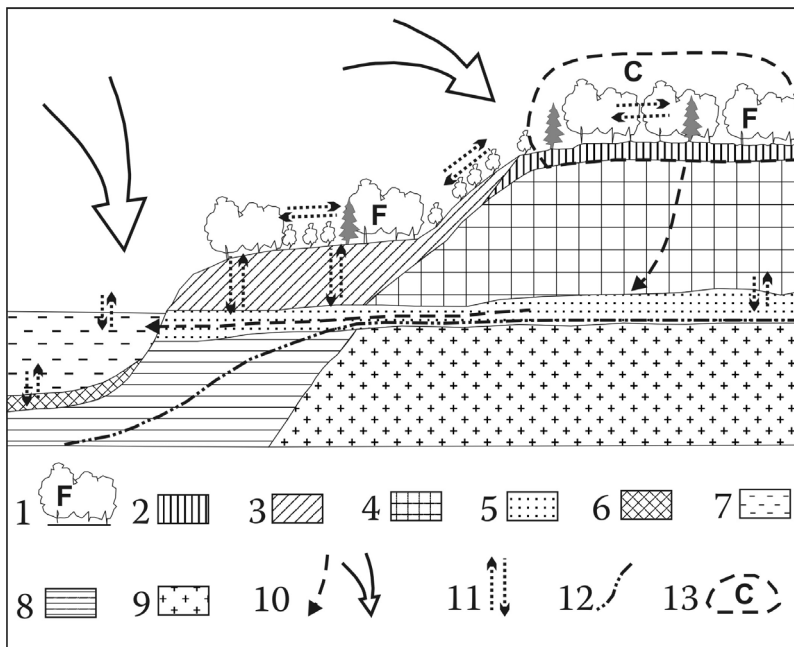


Figura 1: Paisagem Geoquímica (PERELMAN, 1975)

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1 – biocenose terrestre | 8 – depósitos continentais |
| 2 – solo eluvial (sobre-aquático) | 9 – rocha-mãe |
| 3 – solo sobre aquático | 10 – ligações diretas |
| 4 – crosta intemperizada | 11 – ligações de trocas |
| 5 – aquífero | 12 – fronteira inferior da paisagem |
| 6 – sedimentos de fundo | 13 – centro da paisagem geoquímica |
| 7 – água superficial | |

Segundo as formas de migração da matéria, Perelman reuniu todas as paisagens em três **categorias**: **abiogênicas**, **biogênicas** e **antropogênicas**. A caracterização das duas últimas foi elaborada mais detalhadamente.

Paisagens biogênicas

Na hierarquia dos processos em paisagens, segundo as idéias de V.I. Vernadski (1954) e A.I. Perelman (1961), os processos de síntese e de destruição da matéria orgânica têm o papel principal. Por isso a biomassa e a produção biológica (Quadro 1) anual são alguns dos principais parâmetros geoquímicos da paisagem.

Quadro 1: Táxons de classificação geoquímica das paisagens e seus parâmetros (segundo PERELMAN, 1975).

Nível Taxonômico	Táxon	Parâmetros determinantes	Número de divisões
Superior	Grupo	Tipo de vegetação, biomassa e produtividade	5
	Tipo	$J = \log P / \log B^*$	62
	Família	Variação de P e B (J – constante).	3
Médio	Classe	Conjunto de elementos químicos líderes e nutrientes	21
Inferior	Gênero	Gradiente de diferenciação do relevo	3
	Espécie	Litologia	n/l

* **B** – biomassa t/ha, **P** – produtividade anual t/ha ano; - n/l - número não limitado.

Grupos - Os táxons superiores de classificação (Quadro 1) geoquímica das paisagens são baseados nas características biogênicas das paisagens e, justamente, na relação e razão entre biomassa e produtividade biológica anual. L.E. Rodin e H.I. Basilevich (1965) demonstraram que todas as paisagens biogênicas por sua biomassa e produtividade anual podem ser reunidas em cinco grupos principais (Figura 2): 1- Paisagens Florestais; 2- Estepes, Pradarias e Savanas; 3- Desertos; 4- Tundras e banhados (banhados na paisagem autônoma em qualquer condição climática); 5- Desertos primitivos.

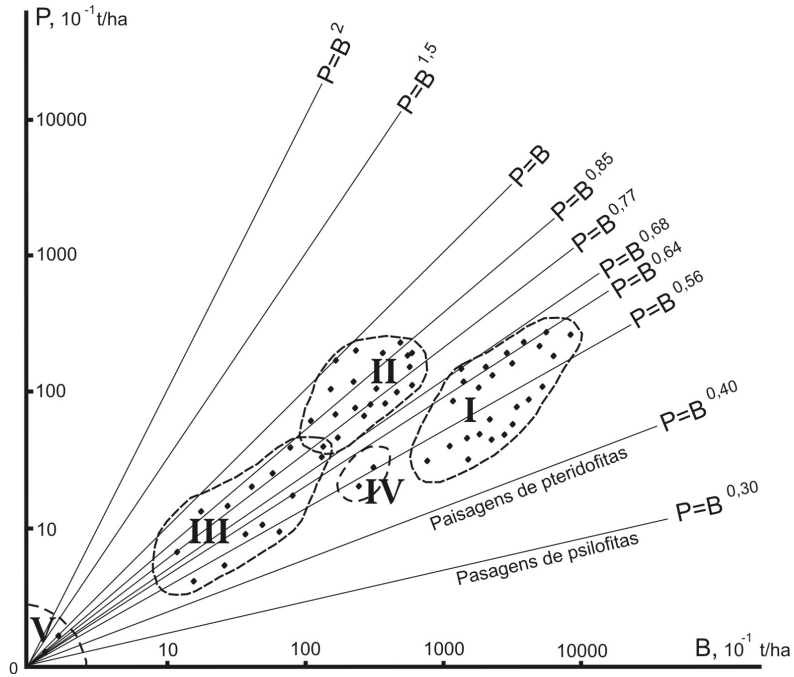


Figura 2: Biomassa (B) e produtividade anual (P) dos principais grupos de paisagens (PERELMAN, 1975):

I – paisagens florestais (25 tipos);	IV – tundras (2 grupos);
II – paisagens de savanas, estepes e pradarias (19 grupos);	V – desertos primitivos (2 grupos).
III – desertos (14 grupos);	

Tipos - Na figura 2 pode-se ver que algumas paisagens ficam na linha reta da razão entre biomassa e produtividade. Isso permitiu a A.I. Perelman (1975) caracterizar as paisagens usando a equação $\lg P = K \lg B$ (onde P é produtividade anual e B biomassa total da paisagem, o coeficiente de proporcionalidade J é constante para paisagens determinadas com diferentes valores de P e B).

Na base do coeficiente **J** destacam-se os tipos de paisagem que compõem o segundo táxon da classificação (Tabela 1). O coeficiente **J** varia entre limites muito estreitos para um mesmo tipo de paisagem, enquanto que os tipos de paisagens diferenciam-se muito por este parâmetro. Por exemplo, as paisagens florestais latifoliadas de clima temperado **J**= 0,58-0,60, quando em florestas tropicais úmidas **J**= 0,64-0,66; em paisagem de estepe este coeficiente apresenta variação ainda mais estreita, por exemplo, paisagens de estepes em solos do tipo Chernóziom **J**=0,88 , nas estepes em solos castanhos **J**= 0,81. Assim, o coeficiente **J** ainda determina o nível de homogeneidade da paisagem.

Na primeira edição do manual “Geoquímica de Paisagem” (PERELMAN, 1975) foram destacados 64 tipos de paisagens contemporâneas. Na última edição deste livro (PERELMAN e KASIMOV 1999), houve um aumento do número de tipos de paisagens, em virtude do levantamento de novos dados de biomassa e produtividade em paisagens. A formação da paisagem é determinada principalmente pelo clima, e em decorrência, a distribuição dos tipos de paisagens obedece a zonalidade.

Famílias - Nos limites de um tipo de paisagem por valores de biomassa e produtividade destacam-se famílias (Tabela 1) de paisagens que representam o próximo táxon da classificação geoquímica das paisagens. A família é caracterizada por diferentes valores de **B** e **P** quando **J** é constante, por exemplo, para Taiga setentrional (**B**= 100 ton/ha e **P**= 4 ton/ha), Taiga intermediária (**B**= 260 ton/ha e **P**= 7 ton/ha) e Taiga meridional (**B**= 300 ton/ha e **P**= 7,5 ton/ha). Essa forte diferença em **B** e **P** apresenta praticamente o mesmo **J** (0,54 – 0,55). Em todos os grupos de paisagens é possível identificar as famílias existentes, desde que existam dados de maior detalhe, alguns tipos podem apresentar quatro a cinco famílias, mas em geral o número de famílias não é muito grande (3-5). A possibilidade de variação de **B** e **P** dentro de um tipo de paisagem é restrita, se esses parâmetros ultrapassam determinados valores a paisagem já não pertenceria mais àquele determinado tipo. Assim como os tipos de

paisagem, as famílias também se diferenciam a partir de uma zonalidade, representando subzonas dentro de um tipo de paisagem.

Classes - A unidade intermediária da classificação geoquímica de paisagem é o táxon classe (Quadro 1). Esse é o único táxon completamente geoquímico e baseia-se na característica química da água intersticial do horizonte húmico dos solos das paisagens elementares autônomas. A composição das águas intersticiais é resultante de todos os componentes da paisagem e da migração geoquímica dos elementos. O destaque das classes é baseado no princípio de liderança dos elementos químicos. O número destes elementos e compostos não é grande (H^+ , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , H_2S , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-), mas em diferentes combinações eles determinam diferenças nas paisagens. O número das classes é restrito e para toda a superfície da Terra destacam-se 21 tipos de situações geoquímicas, que correspondem à combinação de três tipos de circunstâncias oxi-redutoras e quatro tipos de situações alcalino-ácidas (pH) descrevendo todas as situações geoquímicas das paisagens.

A classe de uma paisagem normalmente está representada na legenda do mapa por índices de um ou dois elementos líderes. Por exemplo, as florestas latifoliadas da Europa são de classe (H-Ca) ou (Ca); a taiga por classe (H); as estepes secas e algumas savanas de classe (Ca-Na); os banhados em florestas tropicais por classe (H-Fe); desertos salgados por classe (Na), entre outros. Muitas paisagens com características fitogeográficas muito distantes são muito próximas pela sua situação geoquímica. Por exemplo, as paisagens da taiga pela classe geoquímica são mais próximas às florestas tropicais do que as florestas latifoliadas de clima temperado.

Gêneros - Os táxons inferiores da classificação geoquímica das paisagens estão baseados nas características do relevo e da composição geológica. Destacam-se três gêneros (Quadro 1) de paisagens de acordo com padrão morfológico do relevo. As planícies são de gênero **I**. Nelas o intemperismo químico é

significativamente maior que o intemperismo físico. Os terrenos colinosos ou de montanhas baixas são de gênero **II**, o intemperismo químico e o físico são aproximadamente de igual intensidade. As paisagens montanhosas onde o intemperismo físico supera o intemperismo químico são de gênero **III**.

Espécie - A espécie (Tabela 2) de paisagem é determinada pela composição geológica. O número de espécies poderia ser grande, caso fosse determinado pelos tipos de rocha abaixo do solo, mas como um mesmo tipo de paisagem existe sobre diferentes tipos de rochas, o critério utilizado para a identificação da espécie de paisagem é o complexo de rochas ocorrente, ou seja, as fácies estruturais: rochas sedimentares, ígneas, metamórficas entre outras. Com toda a importância da composição das rochas para a classificação geoquímica das paisagens ela, todavia, cede lugar, pelo seu significado, para o clima e para o tipo de vegetação e por isso a característica geológica ocupa uma posição mais baixa na classificação das paisagens geoquímicas.

Paisagens antropogênicas

A classificação geoquímica das paisagens antropogênicas foi proposta bem posteriormente à classificação das paisagens biogênicas por Perelman e Mirlean (1984). Essa classificação reúne os índices classificatórios da geoquímica das paisagens e os índices que são utilizados em ciência de paisagens antropogênicas (SAOUCHKINE, 1946; ISSATCHENKO, 1976). Além disso, os índices que caracterizam a antropogênese ocupam nesta classificação a posição superior. Na mais alta unidade do táxon destacam-se sete principais **ordens de paisagens**: urbano-industriais, agrícolas, pastoris, explorações florestais, mineração, de tráfego e de recreação. Visto que, a antropogênese diferencia-se não somente em sua espacialização, mas pela intensidade, o próximo táxon de classificação **categoria** inclui as características quantitativas do impacto antropogênico sobre o meio ambiente. Assim, são destacadas três categorias que correspondem a níveis de impacto: fraca - **I**, média - **II**, e forte - **III**. Os parâmetros

quantitativos de impactos antropogênicos são diferentes em cada ordem de paisagem antropogênica. Para as paisagens urbanas é o número de habitantes e o nível de urbanização; para paisagens industriais - o tipo e o volume de produção; para paisagens agrícolas - o nível de tratamento do solo e a aplicação de agroquímicos entre outros (PERELMAN e MIRLEAN, 1984, MIRLEAN, 1989). Os táxons inferiores dessa classificação correspondem aos táxons da classificação geoquímica das paisagens biogênicas (naturais), pois é claro que nas paisagens antropogênicas, a migração dos poluentes depende dos fatores naturais.

Barreiras geoquímicas

As barreiras geoquímicas têm um significado especial para as características das paisagens. O termo “barreira geoquímica” foi introduzido por A.I. Perelman (1961) para definir os locais nas paisagens onde ocorre a brusca diminuição da intensidade de migração dos elementos químicos e, como consequência, a formação de anomalias de elementos químicos nos solos, nos sedimentos ou nos organismos vivos. As anomalias podem ter origem natural ou antropogênica.

No total a classificação das barreiras geoquímicas inclui 96 classes. Cada paisagem geoquímica apresenta seu conjunto de barreiras que se formam nos solos, na cobertura vegetal, nos sedimentos de lagos, rios e em aquíferos. Em alguns casos as paisagens elementares servem integralmente como uma barreira, no conjunto da paisagem geoquímica, por exemplo – as depressões com banhados nas estepes secas (KASIMOV, 1980). As barreiras geoquímicas constituem uma característica de paisagem geoquímica tão importante quanto a cobertura vegetal ou tipo de solo.

Mapeamento geoquímico das paisagens

A metodologia para a composição de mapas geoquímicos das paisagens foi desenvolvida com base em dois tipos de

mapeamento: de paisagens e geoquímicas. Os diferentes problemas de mapeamento geoquímico foram discutidos em trabalhos de geógrafos soviéticos (BAZILEVICH, 1965; GEDYMIN, 1970; GLAZOVSKAIA, 1967; PERELMAN, 1964).

Dependendo do objeto de estudo os mapas geoquímicos de paisagens podem ser divididos em mapas tipológicos e de regiões; os primeiros mapas por sua vez podem ser divididos em mapas de paisagens elementares e de paisagens geoquímicas.

A importância das paisagens elementares e geoquímicas está baseada em princípios gerais da ciência da paisagem, nas idéias sobre as inter-relações entre clima, rochas, relevo, solo, vegetação e águas. Por isso as paisagens elementares e as paisagens geoquímicas podem ser identificadas com base em dados físico-geográficos e geológicos sem o recrutamento de dados geoquímicos específicos. Isso se refere especialmente a grandes táxons, mas em parte também a gêneros e espécies. Assim, as fronteiras das paisagens elementares e geoquímicas podem coincidir com várias fronteiras físico-geográficas e geológicas.

Na geoquímica de paisagem foram elaboradas duas principais metodologias de composição de mapas. A primeira metodologia foi proposta por M.A. Glazovskaia. Fundamenta-se na importância das paisagens elementares pelas peculiaridades da migração e dos níveis de concentração dos elementos químicos nas mesmas. Estes mapas também incluem a informação sobre composição geológica, idade da paisagem, tipo geomorfológico da paisagem, posição das águas subterrâneas relativamente ao horizonte do solo, entre outros. A metodologia de M.A. Glazovskaia tem como principal aplicação a composição detalhada dos campos de minérios (GLAZOVSKAIA, *et al.*, 1961).

A segunda metodologia proposta por A.I. Perelman está fundamentada na importância das paisagens elementares e geoquímicas para fins aplicativos da classificação hierárquica descrita acima. Essa metodologia foi utilizada na composição de centenas de mapas de paisagens geoquímicas em diferentes escalas em vários países.

A característica detalhada das paisagens geoquímicas requer estudos geoquímicos adicionais. A informação geoquímica colocada no mapa deverá estar em consonância com os objetivos do estudo. Para fins agrícolas os mapas apresentam índices de elementos químicos em excesso e em déficit, para fins ambientais e de prospecção de jazidas são representadas no mapa as barreiras geoquímicas, para tarefas médico-geográficas os parâmetros biogeoquímicos são adicionados ao mapa. No entanto a significação fundamental dos mapas tem seus princípios na classificação das paisagens que determinam a diferença desses mapas dos mapas físico-geográficos de paisagens.

De acordo com a escala os mapas podem ser enquadrados em três níveis. Mapas de *grande escala* - mapas detalhados (1:50000 – 1:5000) contêm a informação sobre as condições da migração dos elementos químicos em paisagens elementares, a estrutura radial e lateral dos mesmos, o sistema das barreiras geoquímicas, e informações sobre a composição dos diferentes horizontes dos solos, sobre a composição das plantas, crosta intemperizada e águas. Mapas dessa escala são elaborados principalmente para locais de minérios ou zonas urbanas. Mapas de escala média (1:500000 – 1: 1000000) são elaborados para regiões ou províncias, junto com informações sobre as condições de migração dos elementos químicos. Nos mapas desta escala estão apresentadas as informações sobre o background geoquímico e sobre a estrutura geoquímica de paisagem. Estes mapas servem como base para a regionalização da situação ecológica, ou para a resolução de problemas regionais: de agricultura, medicina, entre outros. Mapas de *escala pequena* (< 1:1000000) refletem a informação geral sobre as condições de migração em zona de supergênese em regiões grandes, países ou no mundo. Cada contorno desse mapa representa uma unicidade de condições climáticas zonais, de tipo de solo, de cobertura vegetal, do tipo de relevo e das águas com pequena amplitude de classes. Os mapas desta escala têm significação estratégica, eles são destinados para

uso em órgãos de administração, para fins científicos e para o ensino.

O aumento do interesse sobre os problemas da qualidade do meio ambiente nas últimas décadas serviu como base para o desenvolvimento de mapeamento ecológico-geoquímico que apresenta a caracterização da distribuição espacial da poluição e da avaliação de risco para homens, plantas e animais. As bases teóricas e metodológicas desse tipo de mapeamento são a geoquímica de paisagem e a geoquímica ambiental. Os mapas ecológico-geoquímicos são construídos atendendo objetivos específicos de cada mapeamento:

- inventariar as fontes de poluição;
- espacializar o complexo de paisagens geoquímicas e/ou de propriedades geoquímicas da paisagem (mapas bio-, geo-, hidro-geoquímicos);
- identificar áreas contaminadas e/ou poluídas (mapas de monitoramento de poluição de vários componentes da paisagem);
- apreciar e prever riscos ecológicos com base em parâmetros geoquímicos e de biotecnogeomas (como exemplo os mapas médico-geográficos);

Um dos exemplos de mapeamento geoquímico voltado à apreciação e à previsão das condições geoquímicas das paisagens, foi o mapeamento realizado por A.I. Perelman e colaboradores (PERELMAN e KASIMOV, 1999), na Rússia, das condições para a migração de elementos radioativos. Este tipo de mapeamento permitiu selecionar áreas de menor risco para alocação de indústrias e usinas nucleares. Este trabalho foi iniciado por ocasião do acidente na usina nuclear em Chernobyl. O mapeamento prognóstico permitiu delinear as conseqüências de possíveis acidentes em usinas nucleares, assim como subsidiar a alocação de novas usinas nucleares. Este tipo de mapa também permite avaliar a capacidade (ou potencial) da paisagem em reduzir os impactos e

as conseqüências negativas da poluição por elementos radioativos, isto é, sua capacidade de auto-depuração.

As perspectivas de desenvolvimento da geoquímica de paisagens no Brasil

A geoquímica de paisagens logrou sucesso em seu significado teórico para a geografia e em sua aplicação para diferentes setores da atividade humana. No entanto, o desenvolvimento teórico e a aplicação prática ficaram limitados ao hemisfério norte, principalmente nas regiões de latitude superior a 30o N.

No hemisfério sul ainda não foram realizados estudos geoquímicos de paisagem, porém tais estudos seriam de grande valia para o aprimoramento da base teórica da geoquímica de paisagem como também para fins científicos e práticos nestas regiões.

Ainda que a classificação geoquímica de paisagens criada por Perelman, no seu nível superior de táxons, inclua todos os grupos de paisagens tropicais e subtropicais, estudos tipológicos mais detalhados dessas paisagens ainda não foram realizados. A ausência de dados quantitativos sobre biomassa e produtividade, dificulta a identificação de famílias nos grupos de florestas tropicais e de savanas, nos limites da classificação geoquímica de paisagens. O mesmo ocorre no que se refere às classes de paisagens tropicais e subtropicais, identificadas apenas para florestas equatoriais.

O desenvolvimento da geoquímica de paisagens no Brasil, onde as zonas tropical e subtropical estão representadas plenamente nos limites de um mesmo país, sem dúvidas, vai enriquecer a contemporânea classificação geoquímica das paisagens.

O mapeamento das grandes paisagens geoquímicas do Brasil pode tornar-se uma importante ferramenta na delimitação das paisagens zonais, atendendo aos critérios tradicionais da geografia, haja vista as contradições presentes em alguns sistemas de

classificação contemporâneas, como por exemplo, a denominação de savana para paisagens do sul do país, em uma zona de condições climáticas que não corresponde a este grupo de paisagens. Tal enquadramento, muito provavelmente, deva-se a critérios puramente fisionômicos e pode facilmente ser comprovado ou corrigido com base em uma tipologia mais abrangente que inclui em si várias características da paisagem. Neste caso, a abordagem geoquímica para estudo das paisagens pode ser aquela base metodológica que permite determinar de forma mais fidedigna os contornos das zonas físico-geográficas das paisagens.

A prática de prospecções geoquímicas no continente euroasiático demonstrou a necessidade de conjunção deste procedimento com estudos geoquímicos de paisagens, permitindo assim, a identificação de anomalias sem mineralizações aparentes. Mapas geoquímicos dessa ordem terão importante aplicação no território brasileiro, como ferramenta facilitadora nas prospecções geoquímicas de minérios.

As paisagens tropicais e subtropicais são paisagens que apresentam déficit de vários macro e microelementos importantes para o desenvolvimento normal dos organismos, incluindo o homem. As paisagens, ainda que do mesmo grupo, apresentam distinto espectro de elementos em déficit. A composição deste espectro depende dos fatores que compõem a base de táxons inferiores da classificação geoquímica das paisagens, sendo, portanto, de extrema importância a identificação de paisagens geoquímicas com base em todos os critérios tipológicos. Esse nível de detalhe permite proceder à regionalização médico-geográfica, além da identificação das províncias biogeoquímicas de déficit ou de excesso em determinados elementos.

Outra perspectiva muito importante no sentido do desenvolvimento da geoquímica de paisagem é o mapeamento ambiental, considerando-se a urbanização acelerada e a ausência de um planejamento ecologicamente balanceado. A elaboração de mapas das paisagens geoquímicas urbanas pode ser de grande valia para a qualidade da vida de grande parte de população brasileira.

Assim, as condições de desenvolvimento econômico e demográfico no Brasil evidenciam problemas que podem ser solucionados por novas abordagens científicas, e a Geoquímica de Paisagem é uma destas abordagens, demonstrando um novo alcance da ciência geográfica em seu desenvolvimento teórico e aplicado.

Referências bibliográficas

BAZILEVICH, N.I. **Geochemistry of salted soils.** Moscow: Nedra, 1965 (em russo).

BERG, L. S. Faciès, aspects géographiques et zones géographiques. **Dans Mémoires de la Société géographique de l'URSS**, Moscow v. 77, p. 162-164, 1945 (em russo).

GEDYMIN, A.V. Composition of mezoscale geochemical maps of landscapes. **Vestnik of MSU, Series: Geography**, Moscow, v. 22, p.16-27, 1970 (em russo).

GLAZOVSKAIA, M.A., MAKUNINA, A.A., PAVLENKO, I.A., BOZHKO, M.G., GAVRILOVA, I.P. **Landscape geochemistry and ore deposits prospecting in Southern Ural region.** Moscow: Moscow University, 1961 (em russo).

GLAZOVSKAIA, M.A. Geochemical zoning of the continental part of the Earth. **Vestnik of MSU, Series: Geography**, Moscow, v. 19, p.134-149, 1967 (em russo).

DOKOUTCHAEV, V. V. **Rapport au Comité statistique transcaucasie à propôs de l'évolution des sols en général et du Caucase, en particulier. Zones pédologiques horizontales et verticales.** Tiflis: Tip. kants. Glavnonatch. grajd. tchasti na Kavkaze, 1899. Relatório técnico (em russo).

DOKOUTCHAEV, V. V. **The theory of natural zones.** Moscow : Geografguiz, 1948 (em russo).

ISSATCHENKO, A. G. **Science du paysage appliquée.** Leningrad: Ed.Leningradskogo Universiteta, 1976 (em russo).

MIRLEAN, N. *et al.* O que é geoquímica de paisagem? *Geosul*, v.21, n.41, 2006

KASIMOV, N.S. **Geochemistry of landscapes in fractured zones**. Moscow: Moscow University, 1980 (em russo).

MIRLEAN, N. **Geochemistry of Moldavian agrolandscapes**. Kishinev: Stiintsa, 1989 (em russo)

ODUM, E.. **Ecology**. : Holt, Rinehart&Winstor, New York, 1965.

PERELMAN, A.I. **Introduction to the geochemistry of landscapes**. Moscow: Nedra, 1961 (em russo).

PERELMAN, A.I. **The geochemical map of landscapes of the territory of the USSR(1: 20 000 000)**. Moscow: Geografiz, 1964 (em russo).

PERELMAN, A.I. **Geochemistry of landscape**. Moscow: Vyshaia Shkola, 1975 (em russo).

PERELMAN, A.I., MIRLEAN, N.F. Geochemical principles of anthropogenic landscapes classification. **Vestnik, of MSU, Series: Geography**, Moscow, v.36, p.72-75, 1984 (em russo).

PERELMAN, A.I., KASIMOV N.S. **Geochemistry of landscape**. Moscow: Astrea, 1999 (em russo).

POLYNOV, B.B. **Selecta**. Moscow: AN USSR, 1956 (em russo).

RODIN, L.E., BAZILEVICH H.I. **Dynamics of organic matter and biological cycles in principal phytocoenoses**. Moscow-Leningrad: Nauka, 1965 (em russo).

SAOUCHKINE, I. G. Paysage culturel. **Questions de Géographie**, Moscou, v. 1, p.97-106, 1946 (em russo).

SUKACHEV, V.N. **Selecta (phytocenology)**. Moscow: AN USSR, 1975 (em russo).

VERNADSKI, V.I. **Selecta**. Moscow: AN USSR, 1954 (em russo).

Recebido em junho 2005

Aceito em abril de 2006