

В.М.Гуцуляк



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	0		
1	H															He		
2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne										
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U												
					Ce	Pr	Nd	II	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu	Yb	Lu

В. М. Гуцуляк

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

В.М. Гуцуляк

Геохімія ландшафту

Навчальний посібник

Чернівці
 "Рута"
 2004

ББК 26.301я7
Г 367
УДК 550.4(076.5)

Друкується за ухвалою редакційно-видавничої ради
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

Рецензент: *Кирилюк М.І.*, доктор географічних наук, професор

Гуцуляк В.М.

Г 367 Геохімія ландшафту: Навчальний посібник. – Чернівці:
Рута, 2004. – 83 с.

У навчальному посібнику розглядаються теоретичні й методичні питання вчення про геохімію ландшафту: історія і методологія науки, ландшафтно-геохімічні системи, розповсюдженість хімічних елементів у оболонках Землі, міграція хімічних елементів у ландшафті (водна, біогенна, техногенна). Особлива увага приділяється геохімічним показникам перерозподілу хімічних елементів у ландшафті, що має важливе значення при розробці питань екологічного моніторингу.

Посібник може використовуватися студентами-географами вищих навчальних закладів, а також спеціалістами географами, геохіміками, екологами, медиками та ін.

ББК 26.301я7

© Гуцуляк В.М., 2004
© “Рута”, 2004

ВСТУП

Основні питання:

1. Предмет геохімії ландшафту, зміст і значення курсу.
2. Історія виникнення та розвитку геохімії ландшафту.
3. Методологія науки.
4. Прикладні питання геохімії ландшафту. Основні завдання.

Література: 1) Перельман А.И. Геохимия ландшафта.- М.: Высш. шк., 1976.- 342 с. 2) Перельман А.И. Геохимия.- М.: Высш. шк., 1989.- 528 с. 3) Чертко Н.К. Геохимия ландшафта.- Минск: Изд-во БГУ, 1981.- 205 с. 4) Лукашев К.И., Лукашев В.К. Геохимия ландшафта.- Минск: Высш. шк., 1972. 5) Энгельс Ф. Диалектика природы.- М., 1969.

1. Предмет геохімії ландшафту. Геохімія ландшафту - наука про закономірності міграції, розсіювання та концентрації атомів у ландшафті. Предметом її вивчення є хімічні елементи та їх міграція. Геохімія ландшафту вивчає ландшафт на елементарному (від поняття “хімічний елемент”) або атомарному рівні.¹ Вона виникла на межі між геохімією і ландшафтознавством. У географії - запозичила об’єкт (ландшафт) дослідження, а у геохімії – метод дослідження. Згодом були розроблені й власні ландшафтно-геохімічні методи.

На відміну від інших наук, наприклад, мінералогії чи біохімії, які вивчають відповідно хімію літосфери та живої речовини на молекулярному рівні, геохімія вивчає ці ж предмети на елементарному рівні. Одиницею дослідження в геохімії є не молекула, а хімічний елемент у формі атома або іона. Саме це надає великого значення вивченню спряжених процесів і взаємозв’язків у ландшафті. Зв’язок, як відомо, здійснюється за рахунок обміну речовиною й енергією (вивченням трансформації та балансу енергії займається геофізика ландшафту).

Обмін речовин між різноякісними компонентами ландшафту, тобто твердою літосферою, рідкою гідросферою, газоподібною атмосферою, живою речовиною може бути ліпше досліджений на атомарному рівні, оскільки всі ці компоненти складаються з

¹ Атомарний рівень досліджень притаманний і в біології (молекулярна біологія), що дозволило пояснити спадковість (генетику).

гію, шляхи практичного застосування. Цю проблему розв'язав Б.Б. Полинов.

Другий етап. З ним пов'язане проникнення атомістичного підходу в географію¹ і поява нової науки – геохімії ландшафту (вперше в колишньому СРСР). Її основоположником став Б.Б. Полинов, який з'єднав вчення про ландшафт і геохімію – розробив учення про ландшафт на геохімічній основі. Полинов прийшов до вивчення геохімії ландшафту від ґрунтознавства. Ґрунт як відомо, є “дзеркалом ландшафту”, в ньому здійснюється зв'язок між “живою” і “неживою” природою. Полиновим було встановлено нове поняття - “геохімічний ландшафт”, він розробив методіку геохімічного вивчення ландшафтів, дав коротку геохімічну характеристику ландшафтів вологих субтропіків Грузії, зони мішаних лісів, чорноземних степів.

Б.Б. Полинов показав, що міграція хімічних елементів зумовлює багато особливостей ландшафту. Він вважав, що настав час, коли вивчення міграції хімічних елементів необхідно ставити в основу вчення про ландшафт. Методологію геохімії ландшафту Полинов побудував на сполученні докучаєвського вчення про зони природи (ландшафти) і вчення Вернадського про геологічну роль живої речовини. Найбільш інформативною частиною ландшафтних систем Б.Б. Полинов вважав ґрунт. У дослідженнях ґрунтів він використовував геохімічні методи спряженого аналізу, історичний підхід у міграції елементів, поняття неврівноваженості ландшафту як природної системи. Науковим центром, де розвивалися ці ідеї, був Ґрунтознавчий інститут ім. В.В. Докучаєва в Москві, в якому працював Полинов¹. Під керівництвом Полинова дослідження проводились також його учнями в Академії наук Казахстану (М.А. Глазовська) і в інституті геологічних наук АН СРСР у Москві (О.І. Перельманом). Однак, геохімія ландшафту в цей час ще не отримала визначення в якості особливого наукового напрямку, і дослідження проводились під “прапором” ґрунтознавства, географії та геохімії.

Геохімія ландшафту як самостійна наука сформувалась у 50-х роках ХХ ст. завдяки дослідженням, проведеним учнями

Полинова. Значний внесок у розвиток цієї молоді науки зробили О.І. Перельман і М.А. Глазовська (кафедра геохімії ландшафту МДУ). У 50-60 роки інтенсивно застосовувався ландшафтно-геохімічний метод у пошуках корисних копалин на основі ландшафтно-геохімічного картографування. Розвивається вчення про водну, біогенну, атмосферну міграції. Пізніше О.І. Перельман і М.А. Глазовська розроблять принципи і методи класифікації геохімічних ландшафтів, створюється вчення про геохімічні бар'єри, складається дрібномасштабна ландшафтно-геохімічна карта СРСР, визначається геохімія ландшафтів по окремих зонах (П.С. Касимов).

В останньому періоді виконуються роботи десятка наукових центрів і виробничих організацій колишнього СРСР. Це інститут географії Сибіру і Далекого Сходу в Іркутську (В.А. Снитко), ІГЕМ АН Росії (О.І. Перельман), ІМІГРЕ АНР (Ю.Е. Саєт), Інститут географії АНР (В.О. Таргулян), інститут ґрунтознавства ім. Докучаєва (Н.І. Базилевич), кафедра геології і геохімії ландшафту МДПІ (В.В. Добровольський); академії колишніх союзних республік, зокрема, АН України (П.С. Погребняк, Л.М. Шевченко), інститут геохімії і фізики мінералів АНУ (Б.Ф. Міцкевич), інститут геології і географії АН Литви (Г.Б. Паулюкявичос), інститут геофізики і геохімії АН Білорусі (В.К. Лукашов), Київський університет (Л.Л. Малишева), Чернівецький університет (В.М. Гуцуляк) та ін.

3. Методологія науки – це загальні принципи, підходи до її вивчення. В основу методології геохімії ландшафту покладені загальні принципи філософії, природознавства і науковознавства. Додавання цих до конкретних проблем геохімії ландшафту і складає її власну методологію.

Власна методологія складається з атомарного рівня дослідження, міграції елементів у ландшафті, видів міграції. Керівною ідеєю при цьому є форма руху матерії. Ф. Енгельс визначив такі форми руху матерії: механічну, фізичну, хімічну, біологічну, соціальну. В останній час нашими вченими виділяються нові форми – ядерно-фізична, кібернетична, геологічна (акад. Келдров), навіть географічна (Лямін), що є дискусійним.

О.І. Перельман пропонує дотримуватися чотирьох видів міграції хімічних елементів згідно з формами руху матерії за Ф. Енгельсом. Це: 1- механічна, 2- фізико-хімічна, 3- біологічна

¹ Праці Б.Б. Полинова: 1) Ландшафт и почвы (Геохимические труды) - М. 1952 - С. 357-366. 2) Геохимические ландшафты. Там же. С. 381-394. 3) Учение о ландшафте. Вопросы географии, 1953 - С. 33-45.

(В.І. Вернадський назвав її біогенною міграцією) – вона найголовніша з усіх видів міграції, 4-техногенна (соціальна) – пов'язана з соціальними процесами, наприклад, нафтопровід “Дружба” – соціальне утворення, через нього мігрує нафта, CO₂, H₂, CH₄ та ін. Перераховані види міграції дають основу для класифікації ландшафтів. Виділяють такий ряд: 1 - абіогенні (майже без життя, тут тільки механічна і фізико-хімічна міграція); 2 - біогенні – провідна роль біогенної міграції і підпорядковані фізико-хімічні і механічні процеси (ліси, степи і т.д.); 3 – техногенні – у них представлені всі форми міграції при провідній ролі техногенної.

В цілому ж потрібно ще відзначити, що міграція речовин між природними компонентами (блоками ландшафту) йде в усіх фазових станах (твердому, рідкому та ін.), часто з переходом однієї фази в іншу. Цикли міграції речовини в ландшафті не зовсім обмежені: частина елементів затримується в окремих блоках системи, частина виходить за її межі і зв'язує дану територіальну систему з іншою. Останнє сприяє формуванню більш складної системи.

Вивчення міграції повинно вестись не тільки на речовинному (як міняється речовина в процесі), але й на енергетичному рівні (як трансформується тепло).

У середині ХХ ст. виник новий аспект у вивченні матерії (є поняття, які не можна віднести ні до речовини, ні до енергії). Цей аспект (підхід) називається інформаційним. Виникла нова наука – інформатика. Зараз “інформатика” трактується як одне з фундаментальних наукових понять (як поняття “речовина”, “енергія” та ін.). Стверджується, що ні речовина, ні енергія без інформації не існують (А.І. Берг). Учені прийшли до висновку, що поняття інформація близьке до поняття різноманітність. Наприклад, природа тропічного лісу різноманітна, вона дає багато інформації. Але географи давно писали про різноманітність. Наприклад, описувались різноманітні природні умови Амазонки та ін.

Види інформації різні й відповідають формам руху матерії: 1) соціальна інформація, при цьому оперують такими поняттями як передача інформації (скажемо, при читанні лекції), переробка інформації (в голові вченого), видача інформації (при розмові). Збереження інформації (в голові, книгах, ін.); 2) біологічна інформація - новий вид (пов'язаний з живими організмами). На-

приклад, ядра клітини – зберігачі спадкової інформації (гени); 3) інформація в неживій природі. І неживі предмети несуть інформацію. Наприклад, геологічний розріз включає пласти солі, що вказує на колишній сухий клімат.

Отже, при вивченні ландшафтно-геохімічних систем важливі три моменти: 1- міграція на речовинному рівні (речовина); 2- міграція на енергетичному рівні (енергетичний ефект); 3- інформаційна характеристика (складність, різноманітність впорядкованість, структура, та ін.). Інформаційний процес головний і визначає властивість геосистем.

Для методології геохімії важливе значення має системний підхід і загальна територія систем. До системи відносяться: і Земля в цілому, і земна кора, ґрунт, артезіанський басейн, атмосфера, ландшафт та ін. Системою називають сукупність якихось частин, які зв'язані і складають єдине ціле. Системний підхід у науці існував і раніше, тільки не було загальної теорії системи, як самостійної галузі науки. В.В. Докучаєв використовував системний підхід при вивченні ґрунтів.

Потрібно підкреслити, що характерна особливість систем полягає у наявності протилежних процесів, пов'язаних окремі їх частини в єдине ціле (“єдність і протилежність”). Важливою характеристикою будь-якої системи є її структура, сукупність складових частин і спосіб зв'язку між ними. У визначенні географії як науки нерідко підкреслюють, що це наука про зв'язки і явища на земній поверхні.

Теорія систем, яка прийшла на допомогу географії, вивчає види зв'язків (її не цікавить фізична сторона справи). За ступенем досконалості зв'язків, ландшафт поступається таким системам, як кристали, атоми, організми. Ландшафт – це системи не тільки з іншою природою зв'язків, але й з найбільш розхитаними зв'язками. За роллю у ландшафті зв'язки поділяються на прямі та зворотні, а останні – ще й на позитивні і негативні.

Для прямого зв'язку (односпрямовані) характерним є односпрямований вплив окремого тіла (А) на інше (Б). Наприклад, вплив (А → Б) сонячної енергії на Землю (зворотним впливом Землі на Сонце можна знехтувати), ґрунтових вод на живлення річок.

Зворотні зв'язки виражаються у взаємодії тіл (А ↔ Б), коли не тільки А впливає на Б, але й Б на А. Зворотний зв'язок відноситься до одного з основних понять кібернетики, яка під зворот-

ним зв'язком розуміє вплив керованого процесу на керівний орган. (Людський мозок, машина – можуть керувати зворотним зв'язком). Зворотні зв'язки також дуже характерні для ландшафту. До них належать взаємодії ґрунт-рослинність, рослинність-тварини, промисловість-сільське господарство і т.п.

Позитивний зворотний зв'язок – це коли результат процесу посилює цей процес і ландшафт віддаляється від початкового стану (розвивається). Наприклад, заростання озер: рослини відмирають, формується сапропель, озеро мілішає і біля берега створює можливість просуватися рослинності (очерету) до центру, озеро перетворюється на болото. Отже, органіка і сапропель посилюють результат процесу і ландшафт перетворюється на іншу систему. Позитивний зворотний зв'язок особливо характерний для культурних ландшафтів. Розорювання схилів призводить до утворенні ярів. Подальше розорювання ще більше посилює ерозію. Отже, розвиток іде по експоненті. Якщо процес не зупинити, то він приведе до руйнування системи (культурного ландшафту).

Негативний зворотний зв'язок – коли результат процесу послаблює його (процес) і сприяє стабілізації системи, відновленню її вихідного стану. Наприклад, в епоху вулканізму в атмосфері виділяється велика кількість CO_2 , який сприяє поліпшенню фотосинтезу і збільшенню біомаси (це посилює вуглеутворення і карбонатутворення – в морях). Збільшення рослинного покриву приводить до вилучення значної частини зайвого CO_2 із атмосфери і в результаті – до зменшення біомаси та відновлення вихідного стану ландшафтно-геохімічної системи. Таким чином, завдяки зворотному зв'язку в ландшафті спостерігається саморегулювання, і всяке відхилення від стандартного стану викликає такі процеси, які повертають систему у вихідний стан. У фізичній хімії це положення обґрунтовується законами термодинаміки і носить назву принципу гальмуючої протидії Ле-Шательє. (Явище стабілізації ландшафту використовується біологами. Самоочищення рік, озер – явище саморегуляції. Але при сильному забрудненні процес може бути незворотним).

У загальній теорії системи є поняття “центр”, з якого здійснюється управління системою (наприклад, у сонячній системі центр – Сонце, в колгоспі – правління). Структурний центр визначає зв'язок і єдність усіх систем. До централізованих систем належать вищі тварини (центр – мозок), атом (ядро), клітина

(ядро), підприємство (дирекція) та ін. Провідна частина системи називається її центром. Можливі й біцентричні та поліцентричні системи. У міських ландшафтах центрів декілька (заводські, дорожні та ін.). Ландшафти у більшості випадків належать до централізованих систем. У природному ландшафті центром часто служить ґрунт і рослинність вододільних ділянок (“вододільний центр”), а в культурному ландшафті – управління містом, заводом, колгоспом. (Для культурного ландшафту ще більш важливий центр). При вивченні ландшафту рекомендується звернути увагу перш за все на центр. Проблема охорони середовища пов'язана з проблемою централізації.

1. Прикладні питання геохімії ландшафту.

А) При пошуках корисних копалин – використовуються методи геохімії. Геологи вже звернулися до цієї науки, курс викладається на геологічних факультетах. Тепер ставиться завдання районування геохімічних ландшафтів з метою пошуків корисних копалин, виділення геохімічних аномалій та ін.

Б) Геохімія ландшафту та охорона здоров'я. До недавнього часу вважали, що хвороби людини, в основному, інфекційного походження. Хвороби, які викликані не інфекційним шляхом, ставились на задній план. І ось, завдяки розвитку медичної географії на ландшафтно-геохімічній основі, вчені прийшли до висновку, що багато хвороб пов'язані з природною обстановкою і підпорядковуються закону зональності. Так, у тайзі зустрічається хвороба карієс зубів (дефіцит фтору), а в степу – ні. Вважають також, що зональність впливає і на розповсюдження ракових хвороб. Почали звертатися медики до геохімічних карт, на основі яких вивчають такі хвороби, як ендемічне воло (пов'язане з дефіцитом йоду), флюороз (при надлишку фтору), форми раку, деякі психічні захворювання (навіть шизофренія), розсіяний склероз, хвороби скелету, нирок, ін.

В) Геохімія ландшафту і сільське господарство теж взаємопов'язані. Ці проблеми стали актуальними, особливо у зв'язку з продовольчими проблемами.

Необхідно зазначити, що зрошення, наприклад, – це проблема чисто ландшафтно-геохімічна. Застосування добрив – не лише ґрунтознавча проблема: хімічні елементи потрапляють у ґрунтові води і мігрують далеко за межі ландшафту. Стало відомо, наприклад, що надлишок нітратів у деяких ландшафтах Західної Європи призвів до захворювання нервової системи у дітей

(Бельгія, Голландія).

1) Геохімія ландшафту і проблеми навколишнього середовища¹. Це проблема стає головною (деякі американські вчені вважають, що вона важливіша навіть за проблему народонаселення, голоду та ін.). Справді, в епоху НТР людське суспільство стало великою геохімічною силою (схожою лише з найбільш грандіозними силами природи). Виникає загроза забруднення водного і повітряного басейнів, ерозії ґрунтів, зникнення окремих видів флори і фауни, неекономного використання земель і корисних копалин.

Сильний вплив на міграцію хімічних елементів чинять: видобування корисних копалин (у ландшафт потрапляє багато Fe, Al, P, K, Mg, S, мікроелементів), спалювання нафти, газу, вугілля, вишка металів із руд, експорт, імпорт, розвиток землеробства і тваринництва, урбанізація. У зв'язку з указаним виникла особлива категорія міграції – техногенна (за Ферсманом). У нашій країні проводиться великий комплекс робіт по боротьбі із забрудненням середовища, по охороні природи. У 70-ті роки широкого розвитку набула розробка методики дослідження техногенних ландшафтів.

Що стосується проникнення в космос, то маємо перші дані про породи Місяця, інформацію про склад атмосфери Венери.

Вкажемо на основні завдання геохімічного вивчення ландшафтів.

Першим важливим завданням є дослідження геохімічної взаємодії між компонентами ландшафту, тобто вивчення міграції атомів у ландшафті. Особливо важлива роль в обміні речовин належить біогенному кругообігу. Вивчення міграції хімічних елементів у ландшафті базується на спряженому аналізі хімічного складу гірських порід, кори вивітрювання, поверхневих і підземних вод, ґрунтів і організмів. При цьому звертається увага в першу чергу на ті елементи, які найбільш інтенсивно мігрують і нагромаджуються при даних фізико-географічних умовах.

Другим важливим завданням геохімії ландшафту є вивчення геохімічного спряження елементарних ландшафтів (фацій) безпосередньо, яке стикається з ученням про морфологію ландшафту. Міграція хімічних елементів, як відомо, зв'язує природу вододілів, схилів, терас, зашлав, водоймищ в одне ціле – єдиний

ландшафт.

Крім вказаних, ставляться завдання: розвивати теоретичні основи геохімічних методів пошуків; розв'язувати проблеми охорони здоров'я, особливо при освоєнні нових регіонів, проблеми сільського господарства, охорони навколишнього середовища (боротьба із забрудненням) та ін.

Аналіз вищевказаних питань дозволяє нам зробити такі висновки:

- геохімія ландшафту вивчає ландшафт на атомарному рівні;
- як наука про ландшафт, так і геохімія зародилася в одній науковій Докучаєвській школі. Засновником геохімії ландшафту є Б.Б. Полинов;
- вивчення протилежних видів міграції – концентрація і розсіяння елементів – складає одну з важливих особливостей методології геохімії;
- теоретичні основи геохімії використовуються при розв'язанні практичних проблем, пов'язаних з мінеральною сировиною, охороною здоров'я, сільським господарством, охороною навколишнього середовища та ін.

РОЗДІЛ 1. ЛАНДШАФТНО-ГЕОХІМІЧНІ СИСТЕМИ

Основні питання:

1. Поняття “ландшафт” з позиції геохімії ландшафту.
2. Елементарний геохімічний ландшафт, його морфологічні особливості.
3. Типи елементарних ландшафтів за умовами міграції.
4. Геохімічний ландшафт, його особливості. Ландшафтно-геохімічне спряження.

Література: 1) Перельман А.И. Геохимия ландшафта.- М.: Высш. шк., 1975.- С. 5-12. 2) Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов.- М., 1984.- С. 13-27, 30-34, 58-128. 3) Гуцуляк В.М. Основы ландшафтознания.- Київ: УМК МОУ, 1993.- С. 20-28. 4) Чертко Н.К. Геохимия ландшафта.- Минск: Из-во БГУ, 1981.- С. 8-16.

1. “Ландшафт” – таке ж фундаментальне поняття природознавства, як, наприклад, “хімічний елемент”, “живий орга-

¹ Навколишнє середовище – предмет географів, а не біологів (Перельман).

нізм”, “грунт”, “мінерал” (Перельман, 1975). Більшість природних ландшафтів належать до біокосних систем, в яких живі організми і неорганічна матерія проникають один в одного, взаємозв’язані. Підсистемами ландшафту (або блоками – за твердженням М.А. Глазовської) є ґрунт, кора вивітрювання, континентальні відклади, атмосфера (приземна), поверхневі й ґрунтові води. Вказані блоки (компоненти) ландшафту - це трифазні тіла (тверді, рідкі, газоподібні), які включають особливу четверту фазу – живу речовину. Кожне з них є предметом вивчення самостійної науки. Взаємодія цих тіл утворює нову якість, нову систему – ландшафт, тому необхідна й особлива наука для її дослідження – ландшафтознавство. Ландшафт, за визначенням О.І. Перельмана (1975) – це складна динамічна система земної поверхні, в якій відбувається взаємодія елементів між породою, ґрунтом, водами, повітрям, живими організмами. Зв’язок між окремими частинами (блоками) ландшафту здійснюється в процесі міграції речовин, енергії й передачі інформації. Ландшафт з геохімічних позицій розглядається як загальне поняття. Географічна трактовка поняття “ландшафт” наводиться в працях з основ ландшафтознавства (15).

Для розуміння протікаючих в ландшафтній оболонці геохімічних процесів, необхідне загальне знайомство з поняттям “ландшафтно-геохімічні системи”, їх ієрархію і загальними принципами функціонування.

До ландшафтного рівня організації матерії О.І. Перельман відносить два основних типи систем: “елементарний ландшафт” і “геохімічний ландшафт”. До більш високого “надландшафтного рівня організації” належить біосфера Землі в цілому і ряд проміжних систем, які ще передбачається встановити. Для культурного ландшафту існує своя ієрархія систем: культурний ландшафт - ноосфера.

2. Елементарний геохімічний ландшафт (ЕГЛ). Як і кожному науковому напрямку, геохімії ландшафту з метою дослідження необхідна найпростіша таксономічна одиниця. Назва такої одиниці – елементарний ландшафт – запропонована Б.Б. Полиновим вона прирівнюється до поняття фація. (Подібно до того як тіла, які вивчаються в біології, складаються з клітин, у хімії-з хімічних елементів, у геохімії ландшафту з ЕЛ).

За Б.Б. Полиновим, елементарний ландшафт повинен пред-

ставляти один елемент рельєфу, складений однією породою або наносом, з певним рослинним угрупуванням, ґрунтовими відмінами, що свідчить про однаковий протягом елементарного ландшафту розвиток взаємодії між гірськими породами й організмами. Взагалі, головним критерієм виділення елементарного ландшафту є однорідність ґрунту.

Часто сперечаються про розміри елементарного ландшафту. При виділенні елементарного ландшафту необхідно врахувати можливість (хоча б уявно) поширення даного елементарного ландшафту на значно більшій території. Наприклад, пляма солончаку або такиру розміром у декілька м² може бути в інших місцевостях на площі в десятки й сотні разів більша. Ось чому плями можна вважати за фації або елементарні ландшафти (мурашник, окреме дерево та ін. Полинов запропонував назвати деталями ландшафту).

Морфологічні особливості елементарних ландшафтів вивчені слабо. До них відносяться дані про площу і форму, вертикальну будову і потужність, забарвлення ландшафту та ін. Площа ЕЛ може бути різною. Форма – кругла, еліпсоїдна, смугаста, дугоподібна і т.д. Вертикальний профіль ЕЛ поділяється на яруси або горизонти. Це яруси живої речовини, ґрунту, кори вивітрювання, ґрунтових вод, атмосфери.

Ярус живої речовини (наземний). Це рослинний покрив і тваринний світ. Для цього ярусу характерна концентрація елементів-органогенів – С, Н, О, N, які зумовлюють специфічний склад приземного повітря. Потужність ярусу максимальна у вологих тропічних лісах, мінімальна – в лишайникових пустелях.

ґрунтовий ярус. Питання про те, що є критерієм потужності ґрунту, суперечливе. Відомо, що ґрунт закінчується там, де зникають ґрунтові горизонти, зменшується ґрунтоутворюючий процес (тобто в горизонті С). Нижче залишається незмінною ґрунтоутворююча порода. Встановлено, що у вологих тропічних лісах ґрунти мають потужність 2 м. М.А. Глазовська вважає, що нижня межа ґрунту там, де закінчується коріння рослин (коріння, тварини, мікрофлора проводять процес гуміфікації).

І в межах ґрунтового ярусу спостерігається вертикальна диференціація за горизонтами, які відрізняються за хімічним складом і різними фізико-хімічними умовами. Часто у верхніх горизонтах переважає кисла реакція, а в нижніх – лужна, у верхніх горизонтах – окислювальне середовище, в нижніх – відновне.

Ярус кори вивітрювання розташований нижче від ярусу ґрунтів. Кора вивітрювання поділяється на залишкову і акумулятивну. В першій – зберігається структура, продукт вивітрювання залишається на місці. Акумулятивна кора – наносна, вона може бути карбонатною, сульфатною, хлоридною і т.д. (До кори вивітрювання можна віднести й лесовидні суглинки).

Ярус ґрунтових вод – найнижчий ярус вертикального профілю ландшафту, який може знаходитись на різній глибині та бути різного складу. Він, як правило, знаходиться в товщі кори вивітрювання, але може суміщатися з ґрунтом (заплава, болото). Геохімічні особливості процесів, які протікають у цьому ярусі, визначаються режимом та складом вод і порід, а також і хімічними елементами, які надходять з ярусу кори вивітрювання і ґрунтів. Над горизонтом ґрунтових вод у товщі кори вивітрювання знаходиться пористо-капілярна вода і формується горизонт катагенезу (цей термін запровадив Ферсман). У цьому капілярному горизонті утворюється внутрішній супераквальний (надводний) режим і відрізняється він від горизонту ґрунтових вод наявністю речовин у трьох фазах – рідкій, газоподібній (повітря) і твердій.

Отже, різка диференціація речовин і фізико-хімічних властивостей по вертикалі складає характерну особливість елементарного ландшафту, його структуру. В елементарних ландшафтах можуть бути відсутні деякі вказані яруси. Наприклад, водонесний горизонт, який знаходиться глибоко за межами ландшафту (пустеля, гірський ландшафт), кора вивітрювання суміщена з ґрунтом (гірські ґрунти).

Потужність ЕЛ різна. Нижня її межа залежить від ступеня дренажності і обмежується (від поверхні) горизонтом ґрунтових вод (включно). На всоділах, де ґрунтові води залягають глибоко (в корінних породах), можна обмежитись корою вивітрювання (лесовидними суглинками та ін.). Верхня межа ЕЛ, як вказує О.І. Перельман, знаходиться в тропосфері і визначається зоною поширення пилу земного походження, мешкання птахів і комах.

3. Типи елементарних ландшафтів за умовами міграції. Б.Б. Полинов (1956) запропонував розрізнити три типи елементарних ландшафтів: елювіальні, супераквальні, субаквальні. М.А. Глазовська В.М. Гуцуляк доповнили цю класифікацію ЕЛ (рис. 1, таб. 1).

Елювіальний (автономний) ЕЛ розташований, звичайно,

на підвищеному елементі рельєфу (вододілах), характеризується автономністю умов знаходження. Надходження хімічних елементів відбувається з атмосферними опадами і пилом¹. Порооди по вертикальному профілю можуть бути однорідними і різнорідними. Ґрунтові води залягають глибоко й менше впливають на рослинність і ґрунт (вони автономні). Багато елементів виносяться і їх не вистачає рослинам. Рослини змушені затримувати елементи, боротися з виносом. При формуванні ґрунтів відбувається вимивання на деяку глибину розчинних речовин і утворення ілювіальних горизонтів ґрунту. По всьому вертикальному профілю ЕЛ має місце процес окислення, який сприяє акумуляції заліза, марганцю, кобальту і міграції молібдену, селену, урану та ін.

Супераквальний (надводний) ЕЛ займає понижені елементи рельєфу. Характеризується близьким заляганням ґрунтових вод (як правило, в межах шару росту рослин). Ці ландшафти підпорядковані, оскільки знаходяться під впливом надходження хімічних елементів з кори вивітрювання і ґрунтів вододілу. Ґрунти тут напівгідроморфні, в них вміст хімічних елементів вищий, ніж в автономних. Одночасно, частина хімічних елементів виносяться з них ґрунтовими і поверхневими водами в субаквальні. Продуктивність цих ландшафтів лімітується в гумідному кліматі надлишком вологи й нестачею кисню (відновне середовище), в аридному – акумуляцією легкорозчинних солей (сульфатів, соди, хлоридів, нітратів), наприклад, у солончаках у даному ландшафті мігрує залізо, марганець, кобальт, акумулюється ванадій, селен, молібден, уран.

Субаквальний (підводний) ЕЛ формується по днищах рік, озер, у шельфовій зоні морів. Сюди приносяться з твердим і рідким стоком хімічні елементи з вище розташованих ЕЛ. (Річковий і озерний мул не зв'язаний з материнською породою). Принесенний матеріал нагромаджується, йде процес перетворення його в породу (тоді як в елювіальних ЕЛ – процес руйнування породи). Підводні рослини нерідко краще забезпечені мінеральними речовинами, засвоюють хімічні елементи, а при відмиранні перетворюються в органо-мінеральні відклади (сапропель). У цих умовах накопичується сірководень, проходить відновлення

¹ Надходження речовин відбувається також з гірських порід.

хімічних елементів. Інколи, у водоймах є надлишок важких металів і синтетичних органічних сполук (результат техногенного забруднення), і організмам доводиться вести боротьбу з цими шкідливими компонентами.

Крім вказаних вище основних типів елементарних ландшафтів, виділяються (за М.А. Глазовською, 1964) і перехідні варіанти. Це *аккумулятивно-елювіальні* – замкнених понижень вододілів з глибоким рівнем ґрунтових вод; *транселювіальні* – верхніх частин покатих і крутих схилів або випуклих вершин; *трансаккумулятивні* (елювіально-аккумулятивні) – нижніх частин схилів, на делювіальних і пролювіальних відкладах; *трансупераквальні* – з протічними ґрунтовими водами і активним водообміном; власне *супераквальні* – із застійними ґрунтовими водами замкнених понижень. Субаквальні ландшафти поділяються на *трансаквальні* – з протічними водами (ріка, озеро, море) і *аквальні* – і неспотічними водами (непротічне озеро). У заплавах річок у повільній міграції елементів здійснюється за типом трансаквальних ландшафтів.

М.А. Глазовська виділяє також *пермацидні* (промивні) ЕЛ, в яких атмосферні води просочуються до рівня ґрунтових вод, що зумовлює взаємодію ґрунту з корою вивітрювання, та *імпермацидні* (непромивні) – коли ґрунт слабо зв'язаний з корою вивітрювання, склад ґрунтових вод мало залежить від ґрунтових процесів. Б.Б. Полинов указував, що важливо, на чому розвивається ландшафт: на вивержених породах (ортоелювій), корі вивітрювання (параселювій), четвертинних відкладах (неоелювій).

Таблиця 1

Типологія ЕГЛ за умовами міграції та місцезнаходженням (за М.А. Глазовською з доповненням М.В. Гуцуляка, 1989)

Елювіальні		Супераквальні	
Рід ЕГЛ	Положення в рельєфі	Рід ЕГЛ	Положення в рельєфі
Елювіальні (автономні)	Вододільні	С (а) – автономно-супераквальний (напівсупераквальний)	Межирічні
ТЕ – транселювіальні	Верхні частини схилів, еродовані схили	ТС – трансупераквальні	Схиліві (зсувні), ін.

Продовження таблиці № 1

1	2	3	4
ТАЕ – трансаккумулятивно-елювіальні	Нижні частини схилів, делювіальні схили	ГАС – трансаккумулятивно-супераквальні	Нижні частини схилів, делювіально-елювіальні схилів терас
НЕ- неоелювіальні	Терасові	НС (НПС) – неосупераквальні (неополусупераквальні)	Долинно-терасові, заплавні

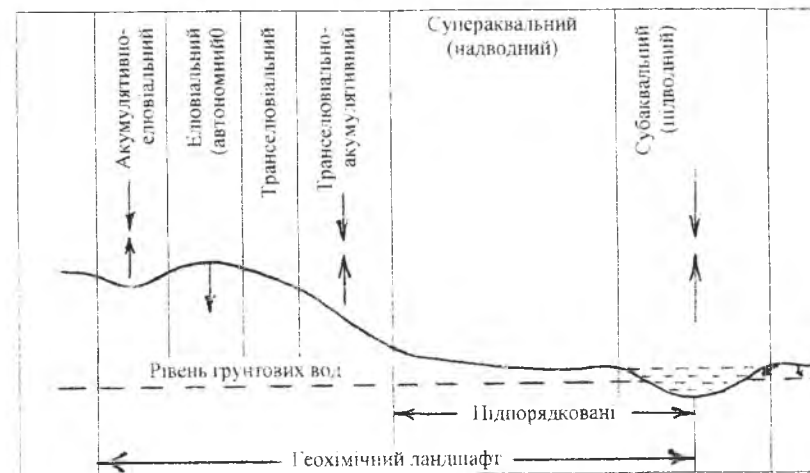


Рис. 1. Основні типи елементарних геохімічних ландшафтів (за М.А. Глазовською, 1964)

4. Геохімічний ландшафт – це парagenетична асоціація спряжених елементарних ландшафтів (елювіального, супераквального, субаквального), зв'язаних між собою міграцією елементів. Його частинами є, наприклад, вододіл, схил, долина, водойма (за К.Г. Раманом – це ряд фазій). Прикладом може бути ділянка мореного рельєфу в тайговій зоні, де горби, які вкриті лісом, складають автономний ЕЛ, заболоченні пониження між ними – супераквальний, а озеро і річка – субаквальний. Аналогічний приклад можна навести і для розчленованої рівнини лісостепової зони (вододіл – елювіальний, схил – транселювіальний).

днище долини – супераквальний, річка – субаквальний).

Геохімічний ландшафт може включати деякі підпорядковані ЕЛ, наприклад, субаквальний, транселювальний, ін. Якщо в підпорядковані ЕЛ надходять елементи тільки зі свого ряду фацій, то такі ландшафти називають автохтонними (геохімічно підпорядкованими), а якщо з інших рядів – аллохтонними.

Послідовне чергування елементарних геохімічних ландшафтів, які схожі за умовами міграції, формують місцевий ландшафт, або місцевість. Згідно з визначенням Б.Б. Полинова, місцевий геохімічний ландшафт – це сукупність ЕЛ, властивих певному геоморфологічному елементу (вододілу, схилу, терасі та ін.).

В залежності від літології порід, ландшафти поділяються на монолітні (прості) й гетеролітні (складні), а від генезису – моногенні і гетерогенні. У моногенних розвиток ішов в одному напрямку, гетерогенні (переважаючи) мають сліди попередніх геохімічних процесів. Наприклад, степовий ландшафт із слідами похованих ґрунтів, древньої кори вивітрювання фералітного типу, або елювіальні ЕЛ із слідами минулого супераквального режиму.

Ландшафтно-геохімічне спряження. Поняття “спряжений аналіз” запропонував Б.Б. Полинов. Воно включає одночасне вивчення всіх компонентів ландшафту і порівняння аналітичних даних однакових компонентів різних ЕЛ і різномірних компонентів у межах одного елементарного ландшафту.

Ландшафтно-геохімічне спряження – це ряд фацій (ЕЛ), які зв’язані між собою міграцією та обміном речовин і енергії. Розрізняють геохімічні ландшафти з неповним і повним спряженням. При повному спряженні відбувається перенос елементів ґрунтовими водами з автономного в підпорядкований ландшафт: кора вивітрювання монолітна (наприклад, лес і лесовидні суглинки в лісостеповій зоні). Неповне спряження визначається за одним із критеріїв: кора вивітрювання гетеролітна по вертикалі або горизонталі, ґрунтові води залягають глибоко і не беруть участі в переносі елементів із автономного в підпорядкований ландшафт, наприклад, в аридних ландшафтах. В умовах гумідного клімату головним критерієм неповного спряження виступає гетерогенна кора вивітрювання.

Серія елементарних ландшафтів, які замінюють один одного в напрямку від вододілу до місцевої депресії рельєфу і зв’язані

латеральним напрямком міграційних потоків формують ландшафтно-геохімічну катену (ЛГК) – найпростішу каскадну ландшафтно-геохімічну систему – КЛГ С (II). Елементарні ландшафти, які формують початкову ланку катени-автономні, а елементарні ландшафти схилів і депресій – геохімічно підлеглі (гетерогенні). Сукупність ЛГ катен, які обмежені загальним водозбірним басейном, формують ландшафтно-геохімічну арену. В залежності від порядку водозбірних басейнів виділяються мега-, макро-, мезо- і мікроарени. Мезоарени охоплюють територію басейнів, які розміщені, як правило, в межах однієї ландшафтно-зони і області.

РОЗДІЛ 2. РОЗПОВСЮДЖЕНІСТЬ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ОБОЛОНКАХ ЗЕМЛІ. КЛАРКИ

Основні питання:

1. Кларк (загальні поняття).
2. Кларки літосфери. Основні, рідкісні та розсіяні елементи.
3. Середній хімічний склад (кларки) гідросфери.
4. Середній хімічний склад (кларки) атмосфери.
5. Кларки живої речовини. Макро- та мікроелементи.
6. Середній хімічний склад ландшафту. Головні та другорядні елементи.

Література: 1) Перельман А.И. Геохимия ландшафта.- М., 1975.- С. 34-36; 42-45; 63-64; 93-94; 2) Перельман А.И. Геохимия.- М.: Высш. шк., 1989.- 528 с.; 3) Чертко Н.К. Геохимия ландшафта.- Минск, 1981.- С. 25-29; 4) Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов: Учебно-методическое пособие.- М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1987.- С. 11-19; 5) Краткий справочник по геохимии.- М.: Недра, 1977.- С. 42-90.

1. Кларк - це середній хімічний вміст елементів у природних системах (земної кори та ін.) – важливий параметр геохімії ландшафту.

Головним джерелом хімічних елементів у ландшафті служать літосфера, гідросфера, атмосфера. Зв’язки між указаними сферами виконують живі речовини які складають біосферу. Вони поглинають і трансформують сонячну енергію, зумовлюють

найважливіші риси міграції хімічних елементів.

Термін "кларк" запровадив Ферсман у 1923 р. на честь американського геохіміка Ф.У. Кларка, який вперше у 1889 р. розрахував середній склад (кларк) елементів у земній корі. (Кларк присвятив цій проблемі 40 років свого життя). У Росії вказаними дослідженнями займалися Вернадський, Ферсман, Виноградов та ін.

Виражають кларки в процентах від маси. Це вагові кларки. Крім того, розрізняють кларки об'ємні (в % від загального об'єму електростатичних полів атомів) і атомні (в % від загальної кількості атомів). Кажуть, наприклад, кларк заліза, кларк алюмінію і т.п. (але не слід говорити кларк граніту).

Вивченням середнього хімічного складу (кларків) літосфери – основи ландшафту (особливо осадова кора), вчені геохіміки займались здавна. На сьогодні підраховано середній склад хімічних елементів у гідросфері, атмосфері, ґрунтах і морській воді. Тому використовують поняття кларк і для природних систем.

Поняття кларк не можна застосовувати при характеристиці середнього вмісту елементів у межах окремого регіону. В такому випадку використовують поняття місцевий кларк, або фон. Місцеві кларки визначають для всіх компонентів ландшафту (або їх підсистем) – ґрунтів, кори вивітрювання, донних відкладів, води, рослин і т. д. Зведення даних про розповсюдження хімічних елементів (кларки) в природних компонентах наведено в "Кратком справочнике по геохимии" (1977).

2. Кларки літосфери, які перевірялись різними методами, наводяться в багатьох посібниках (табл.2; 3). Вони коливаються в дуже значних межах: від 47% для O_2 до $7 \cdot 10^{-8}$ % для ренію. Ще вище вміст радію, протактинію та ін.

Якщо ми розмістимо всі елементи в ряд за їх кларками, то виявиться, що на 1-му місці O_2 , потім Si, Al, Fe, Ca, K, Na, Mg, і т.д. Основну масу (вагові величини) земної кори складають вказані 8 елементів (99.03%). При цьому кисень, кремній, алюміній, залізо в сумі складають 89,2% від твердої земної кори (табл.2).

Якщо брати кларк від об'ємних величин, тобто підрахувати, яку частину простору твердої земної кори займають атоми різних елементів, то видно, що найбільш поширені елементи знаходяться в літосфері у вигляді іонів кулястої форми. За радіусами цих іонів визначено об'єм, який займають найголовніші іони. Порядок елементів за об'ємом такий: O_2 – 91.77%, K – 2.14%,

Na – 1.60%, Ca – 1.48%, Si – 0.80%, Al – 0.76%, Fe – 0.68%. Mg – 0.56%, Ti – 0.22%.

Таблиця 2

Кларки основних елементів у сферах Землі, % вага (за Л.П. Виноградовим; атмосфера – за В.А. Миртовим)

Земна кора		Гідросфера		Атмосфера		Живі організми	
Елемент	Кларк	Елемент	Кларк	Елемент, сполука	Кларк	Елемент	Кларк
O	47,00	O	85,77	N_2	75,31	O	70,00
Si	29,50	H	10,73	O_2	23,01	C	18,00
Al	8,05	Cl	1,93	Ar	1,28	H	10,50
Fe	4,65	Na	1,03	CO_2	0,04	Ca	0,50
Σ	89,20	Σ	99,46	Σ	99,64	Σ	99,00

Таблиця 3

Кларки осадових порід (за Виноградовим, 1962)

Елемент	Кларк	Елемент	Кларк	Елемент	Кларк	Елемент	Кларк
H	-	Al	10,45	Cr	$1 \cdot 10^{-2}$	Sr	$3,4 \cdot 10^{-2}$
Li	$6 \cdot 10^{-3}$	Si	23,8	Mn	$6,7 \cdot 10^{-2}$	Y	$3 \cdot 10^{-3}$
Be	$3 \cdot 10^{-4}$	P	$7,7 \cdot 10^{-2}$	Fe	3,33	Zr	$2 \cdot 10^{-2}$
B	$1 \cdot 10^{-2}$	S	$3 \cdot 10^{-1}$	Co	$2 \cdot 10^{-3}$	Nb	$2 \cdot 10^{-4}$
C	1,0	Cl	$1,6 \cdot 10^{-2}$	Ni	$9,5 \cdot 10^{-3}$	Mo	$2 \cdot 10^{-4}$
N	$6 \cdot 10^{-2}$	K	2,28	Cu	$5,7 \cdot 10^{-3}$	W	$2 \cdot 10^{-4}$
O	52,8	Ca	2,53	Zn	$8 \cdot 10^{-3}$	Ag	$1 \cdot 10^{-5}$
F	$5 \cdot 10^{-2}$	Sc	$1 \cdot 10^{-3}$	As	$6,6 \cdot 10^{-1}$	Cd	$3 \cdot 10^{-5}$
Na	0,66	Ti	0,45	Se	$6 \cdot 10^{-3}$	Sn	$1 \cdot 10^{-5}$
Mg	1,34	V	$1,3 \cdot 10^{-3}$	Br	$6 \cdot 10^{-4}$	Sb	$2 \cdot 10^{-4}$
Hg	$4 \cdot 10^{-6}$	Pb	$1 \cdot 10^{-2}$	Pb	$2 \cdot 10^{-1}$	Bi	$1 \cdot 10^{-6}$

Як бачимо, за об'ємом літосфера складається з іонів кисню, які в ній майже дотикаються. Між іонами кисню розташовуються інші елементи. Відзначимо рідкісність кремнію внаслідок малого радіуса іона. Хоч розрахунок В.М. Гольдшмідта прибли-

зний, порядок величин він передає правильно.

Основні, рідкісні та розсіяні елементи земної кори. Основні елементи: O, Al, Si, Fe, Ca, Na, K, Mg, H мають кларк більше 1, широко розповсюджені в породах, іноді концентруються в родовищах. Рідкісні: Cu, Zn, Mo, Co, V, W, та ін. – з кларками менше одиниці – зустрічаються в породах в мікрокількостях (мікроелементи), але в руді утворюють концентрацію до 3-5%. Розсіяні: Hf, Ta, Os, Re, та ін. – мають дуже низький кларк, розсіяні повсюди, але не концентруються (не утворюють самостійного родовища). Є й винятки, коли кларк елемента значний, але не дає концентрації подібно до інших елементів з такими ж кларками (наприклад, ванадій). Отже, є рідкісні, які утворюють концентрації, та рідкісні-розсіяні (не утворюють концентрації).

3. Середній хімічний склад (кларки) гідросфери. Природні води є важливою складовою частиною ландшафту. Вони створюють середовище, в якому протікає значна частина хімічних реакцій, проходить міграція хімічних елементів, як всередині ландшафту, так і між різними ландшафтами. Вода – це ніби кров ландшафту. Вона містить більшість хімічних елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва. Для гідросфери характерно ще більше переважання кисню, ніж для літосфери (див. табл. 1). Такі елементи, як O, H, C, Na, в сумі складають 99,46% ваги. Розчинені гази CO₂, H₂ – важливі компоненти. Значна частина розчинених речовин знаходиться в іонній формі. Характерно переважання у водах шести іонів: із катіонів – Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, із аніонів – HCO₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, іони вказані в порядку зменшення вмісту, тобто Ca⁺⁺ } Mg⁺⁺ } Na⁺ і HCO₃⁻ } SO₄⁻ } Cl⁻ (зустрічаються й інші відношення). Вода містить також іони H⁺ і OH⁻, роль яких у ландшафтах велика, незважаючи на їх низький вміст (біля 10⁻⁶ - 10⁻⁸ г/л).

Інших елементів, яких багато в літосфері (як K, P, Si, Al, Fe, Ti), у воді мало. Малий вміст також рідкісних і розсіяних елементів (Ni, Co, Cu, Mo, Zn, V та ін.) – від 10⁻⁵ до 10⁻⁷ г/л. Ось чому концентрація хімічних елементів у воді ландшафту коливається від десятків процентів до n·10⁻¹¹%.

Розчинені речовини знаходяться не тільки в іонній формі, але й у формі молекул, колоїдних частин і суспензій.

4. Середній хімічний склад (кларки) атмос-

фери. За складом хімічних елементів розрізняється надземна і підземна (грунтове повітря) атмосфера, хоча між ними спостерігається постійний газообмін за законами дифузії (дихання ґрунтів). Склад надземної атмосфери (% вага) такий: N₂ – 78,09%, O₂ – 20,95%, Ar – 0,93%, CO₂ – 0,03%. Крайні незначні кількості інертних газів (гелію, неону, криптону та ін.), міститься різна кількість водяної пари, пилу, мікроорганізмів.

Підземна атмосфера за складом значно відрізняється від надземної. В ній більше CO₂ (2% і більше), часто вища вологість, інший склад рідкісних елементів. Це за рахунок дихання коренів, тварин, мікроорганізмів. За рахунок дифузії CO₂ із ґрунту надходить в атмосферу і збагачує приземні її шари. Відмінний хімічний склад підземної атмосфери і в різних породах, скажімо, на ділянках з нафтоносними породами і вугіллям – багатий метаном та ін. Подібні властивості використовуються при пошуках корисних копалин.

У складі атмосферних опадів переважають ті ж іони, що й у поверхневих вод: HCO₃⁻, SO₄⁻, Ca⁺⁺, Cl⁻, Mg⁺⁺, Na⁺. Вони надходять в опадах за рахунок розчинення газів повітря, приносу вітром солей з морів і з континенту. Загальна кількість розчинених речовин звичайно не перевищує 100 мг/л, рідко до 500 мг/л (рН дощової води 5-7). У прибережних (морських) ландшафтах повітря збагачене елементами морської води. Вітри приносять морські солі. У результаті у складі атмосферних опадів прибережних районів зростає вміст Cl⁻, Na⁺, Mg⁺⁺, тощо.

5. Кларки живої речовини. Геохімія вивчає не кожний живий організм окремо, а всю їх сукупність, яку Вернадський назвав живою речовиною.

До ХХ-го століття вважали, що для вивчення геологічних (геохімічних) процесів важливо вивчати неживу речовину (в аспекті механічних, фізико-хімічних явищ). На початку ХХ ст. Вернадський вперше вказав на роль живої речовини (біосфери). Вивчався вміст елементів біосфери¹. Як видно з таблиці 4, кларки O, C, H, Ca в сумі складають 99,00% ваги (це кларки живої речовини). Живі організми складаються, в основному, з елементів, які утворюють газоподібні й розчинні сполуки. Основну масу живої речовини складають повітряні мігранти – O, C, H, N (більше 98%). Серед водних мігрантів поширені найбільш рухо-

¹ До біосфери тепер відносять і кору вивітрювання.

мі елементи: кальцію більше, ніж алюмінію і заліза; калію більше, ніж кремнію і т.д. У земній корі навпаки. Немає прямої пропорційності між хімічним складом (кларком) живої речовини та земної кори в цілому (див. табл.4).

Своєрідний хімічний склад живої речовини конкретних ландшафтів – він відрізняється від середнього складу живої речовини Землі. Так, на солончаках жива речовина збагачена Na, Cl, S, а жива речовина степів багата на кальцій, але бідна на Al, Fe, Mn. Організми вологих тропіків бідні на кальцій та ін. Середній хімічний склад живої речовини ландшафту є важливою систематичною ознакою останнього.

Важливо знати не тільки хімічний склад живої речовини, але й кількість окремих елементів, які поглинаються організмами з 1 га даного ландшафту. При цьому можливо розрізняти два показники: загальна кількість даного елемента в живій речовині і щорічне біологічне поглинання. Ці показники враховують для типів ландшафтів.

У біологічних науках прийнято поділ хімічних елементів живої речовини (за її участю в будові організму і фізіологічній ролі) на макро-, мікро- та ультрамікроелементи.

Таблиця 4

Кларки живої речовини (за О.І. Перельманом, 1989)

Макроелементи ($n \times 10^{-3}$ – $n \times 10$)					
А. Повітряні мігранти (98,8%): O – 70; C – 18; H – 10,5; N – 3×10^{-1}					
В. Водні мігранти (1,20%)					
Ca	$5 \cdot 10^{-1}$	P	$7 \cdot 10^{-2}$	Na	$2 \cdot 10^{-1}$
K	$3 \cdot 10^{-1}$	S	$5 \cdot 10^{-2}$	Cl	$2 \cdot 10^{-2}$
Si	$2 \cdot 10^{-1}$	Mg	$4 \cdot 10^{-2}$	Fe	$1 \cdot 10^{-2}$
Мікроелементи (водні мігранти) ($n \times 10^{-3}$ і менше)					
Mn	$9,6 \cdot 10^{-3}$	F	$1,4 \cdot 10^{-3}$	Cs	$6 \cdot 10^{-6}$
Al	$5 \cdot 10^{-3}$	Pb	$1 \cdot 10^{-4}$	Ba	$4 \cdot 10^{-6}$
Zn	$2 \cdot 10^{-3}$	Ni	$8 \cdot 10^{-5}$	Se	$2 \cdot 10^{-6}$
Sr	$1,6 \cdot 10^{-3}$	Cr	$7 \cdot 10^{-5}$	W	$2 \cdot 10^{-6}$
Ti	$1,3 \cdot 10^{-3}$	V	$6 \cdot 10^{-5}$	Ag	$12 \cdot 10^{-6}$
B	$1 \cdot 10^{-3}$	Li	$6 \cdot 10^{-5}$	Hg	$5 \cdot 10^{-7}$
Be	$9 \cdot 10^{-4}$	Co	$4 \cdot 10^{-5}$	Sb	$2 \cdot 10^{-7}$
Cu	$3,2 \cdot 10^{-4}$	Mo	$2 \cdot 10^{-5}$	Cd	$2 \cdot 10^{-7}$
Zr	$3 \cdot 10^{-4}$	Sn	$1 \cdot 10^{-5}$	Au	10^{-8}
Br	$1,6 \cdot 10^{-4}$	As	$6 \cdot 10^{-6}$	Ra	$n \cdot 10^{-12}$

Макроелементи (O, C, N, H, P, K, Ca та ін.) складають основну живих організмів, їх кларки, звичайно, не нижче сотих до-

лей процента. Мікроелементи (B, F, Mg, Fe, Co, Cu, Zn, Se, Br та ін.) мають мізерний вміст (нижче сотих долей %), але вони виконують фізіологічну функцію. Наприклад, залізо в земній корі відноситься до макроелементів, а в живих організмах – у ролі мікроелементів. Ультрамікроелементи (Rb, Cs, Cd, Nb, та ін.) мають ще більш низький вміст ($n \cdot 10^{-4} - 10^{-12}$), фізіологічна роль їх поки невідома.

Співставляючи кларки основних елементів у сферах Землі, можна відзначити, що основну масу земної кори складають кларки таких елементів: O, Si, Al, Fe, K, Na, Ca, Mg, живих організмів – три (O, C, H), гідросфери – два (O, H) і тропосфери – два (N₂, O₂). На долю всіх інших елементів припадає від 0,97 до 3,5%.

6. Середній хімічний склад ландшафту. В ландшафті, в загальному, переважають ті ж елементи, що і в літосфері (див. табл. 1). Так, Na має високий кларк літосфери (2,5), його багато і в ландшафті (солончаки). В ландшафті значну роль відіграють також вуглець, водень, азот, хлор, які надходять в основному із атмосфери і гідросфери.

Виділяються головні і другорядні елементи ландшафту. До головних відносяться: O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, C, H, N, S, Cl, P. Вказані елементи мають високі кларки і складають основну масу гірських порід, ґрунтів, вод і організмів. Вони є "геохімічними диктаторами". Другорядні: це елементи з малим вмістом (рідкісні). Існують випадки, коли рідкісні елементи утворюють концентрації і в конкретному ландшафті стають головними (Cu, Zn та ін.).

Головні елементи, будучи геохімічними диктаторами, часто зумовлюють характерні особливості того чи іншого ландшафту, визначають їх середовище. Такі елементи називаються типоморфними. До них належать найчастіше Ca, H, Fe, S, Cl та ін. Наприклад, H⁺ посилює кислотність розчину (ландшафту), Ca нейтралізує реакцію середовища. Це дозволяє говорити про кальцієві або кислі ландшафти (кальцієва тайга, кисла тайга) та ін.

Закономірності розповсюдження хімічних елементів у ландшафті знайшли відображення в періодичній системі Д.І. Менделєєва. Найбільш поширені ті елементи, які мають найбільші порядкові номери. Наприклад, перші 26 елементів у таблиці складають 99,74% ваги. Переважають елементи з парними порядковими номерами (86% ваги).

РОЗДІЛ 3: МІГРАЦІЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЛАНДШАФТІ (загальні зауваження)

Основні питання:

1. Активні та неактивні мігранти. Типоморфні елементи.
2. Фактори міграції (внутрішні та зовнішні).
3. Види міграції хімічних елементів.
4. Рівняння інтенсивності міграції хімічних елементів.
5. Концентрація і розсіювання хімічних елементів (кларк концентрації і кларк розсіювання, коефіцієнт концентрації, коефіцієнт накопичення мікроелементів – коефіцієнт Шоу, елювіально-акумулятивний коефіцієнт). Концентрація елементів на геохімічних бар'єрах.

Література: 1) Перельман А.И. Геохимия ландшафта .- М.: Высш. шк., 1975. С. 20-24; 2) Чертко Н.К. Геохимия ландшафта.- Минск: Из-во БГУ.- С. 16-23, 29-30; 3) Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафта .- М.: Из-во Моск. ун-та, 1987.- С. 19-37.

1. Активні та неактивні мігранти. Типоморфні елементи. Міграція хімічних елементів відбувається в рідких, газоподібних і твердих (шляхом дифузії) системах. При цьому хімічні елементи поділяються на активні (до них належать більша частина елементів) і неактивні (цирконій, гафній, ніобій, тантал, платиноїди, інертні гази). Останні майже не беруть участі в реакціях і мають незначний вплив на властивості ландшафту.


Активні елементи, за переважаючим способом міграції, поділяються на повітряні й водні. Повітряні: кисень, водень, азот, вуглець та ін. Ці елементи утворюють газоподібні сполуки. Вони, як уже відзначалося, складають, в основному, маси живих організмів і природних вод. До водних мігрантів належать значна частина елементів: Ca, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Mn, Fe, Co, Ni, Sr та ін. Вони мігрують переважно в ґрунтових і поверхневих водах у вигляді іонів, недисоційованих молекул і колоїдних частин. Водні мігранти мають великий вплив на ландшафт, але поступаються повітряним.

Активні мігранти можуть виступати в ролі головних і другорядних. Головні (типоморфні) широко розповсюджені, найбільш

інтенсивно мігрують і накопичуються в ландшафті. Другорядні – ті елементи, які активно мігрують, але все ж менш рухомі й не здатні до акумуляції в даному ландшафті. Перельман запропонував принцип рухомих елементів, який звучить так: роль елементу в ландшафті визначається його вмістом у середовищі й інтенсивністю міграції.

Типоморфними елементами називаються такі, які визначають властивості середовища міграції (властивості води). До них належать: O_2 , CO_2 , H_2S , H^+ , OH^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} та ін. (пишуть і так: Cl, H, Ca, Na, Fe). Щоб бути типоморфними, елементи повинні мати хорошу розчинність їх сполук і високий кларк. Якщо одна з умов випадає, то вони не типоморфні. Наприклад, Al, Ti мають високий кларк, але низьку розчинність їх сполук. Інші – навпаки. Отже, типоморфними (головними) є елементи з великими кларками, й які інтенсивно мігрують. Типоморфні елементи в різних ландшафтах мігрують неоднаково.

2. Фактори міграції (внутрішні та зовнішні). Внутрішні фактори пов'язані з хімічними властивостями самого елементу (стан атома, величина іонного радіуса, валентність, тип хімічного зв'язку, тип зв'язку елементів у мінералі – решітка, чи в органічній сполуці, ін.). Якщо атом одержує, або віддає один, або декілька електронів, то він перетворюється на іон, який активно вступає в зв'язок з іншими іонами. Атоми й іони досить великих (Cl, Cs) або досить малих (B, N, C, Be, Se) радіусів володіють підвищеною здатністю до міграції.

Хімічний зв'язок – це взаємодія між атомами (іонами), які приводять до утворення стійкої системи (молекула, кристал та ін.). Іонний зв'язок (перехід електронів із зовнішніх орбіт одних атомів на орбіту інших, наприклад, NaCl – натрій віддає, а хлор приймає один електрон) сприяє активній дисоціації сполук. Ось чому міграційна здатність елементів висока. При ковалентному зв'язку (зовнішні орбіти атомів взаємно перекриваються ) міграційна здатність елементів низька. У природі більше сполук з ковалентним зв'язком, оскільки такі сполуки більш стійкі (FeS_2 та ін.). Багато мінеральних сполук з перехідним (проміжним) зв'язком. Наприклад, у сполуці NH_4Cl водень, віддавши електрон атома хлору, вступає у зв'язок з атомом азоту (див.рис.2).

Міграційна здатність визначає й тип зв'язку елемента в міне-

ралі та органічній сполуці (характер кристалічної решітки). Так, Na в ґрунтах та породах може входити до складу мінералу альбіту ($\text{Na}_2 \text{Al}_2 \text{Si}_6 \text{O}_{16}$), який важко піддається вивітрюванню (і міграції), і до складу легкокорозійного (і рухомого) NaCl; сірка піриту (FeS_2) в ландшафті менш рухома (тут ковалентний зв'язок) ніж сірка тенардиту (Na_2SO_4), де зв'язок сірки з натрієм у кристалічній решітці іонний. Зате залізо піриту більш рухоме, ніж залізо польових шпатів. Крім того, одна й та ж форма (сполука) може бути рухома в одному ландшафті й інертна в іншому. Наприклад, гідроксиди заліза рухомі в тайгових та інертні у степових ландшафтах.

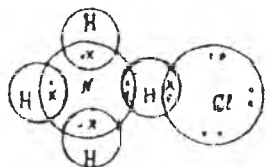


Рис.2. Модель хімічного зв'язку (NH_4Cl)

Зовнішні фактори міграції. Ландшафт – відкрита система для активного прояву зовнішніх факторів міграції. Серед останніх визначальними є температура, тиск, лужно-кислотні (pH), окисно-відновні (Eh) умови вод, ін. Усі вони утворюють обстановку, в якій мігрують атоми.

Головним джерелом енергії геохімічних процесів у ландшафті є сонячна радіація (прискорює реакції, кругообіг води, механічний рух матерії, рух повітряних мас та ін.). Найбільший вплив сонячна радіація чинить через біологічний кругообіг (фотосинтез, розклад). При розкладанні органіки звільнюється енергія, яка використовується в ландшафті на міграцію і т. ін. Багатство вільної енергії зумовлює відсутність рівноваги в ландшафті (про це писав Полинов у 1925 р.). Отже, ландшафт – це динамічна невірноважена система, дуже багата на вільну енергію, значна кількість сонячної енергії витрачається тут на випаровування води.

Інші джерела енергії: енергія радіоактивного розпаду, вулканічне тепло, внутрішня енергія хімічних сполук. З енергетичної точки зору, явища міграції, які відбуваються у ландшафті, складаються з протилежних ендоенергетичних і екзоенергетичних

процесів. До перших належать: біогенна акумуляція мінеральних елементів організмами з ґрунту і атмосфери, фотосинтез, реакція дегідратації¹, розчинення та ін. До других – дихання організмів, окислення мінералів, мінералізація решток організмів, гідратація, осадження з розчинів і т. д. Ці протилежні процеси – необхідна умова існування й розвитку ландшафту.

3. Види міграції хімічних елементів. О.І. Перельман виділяє декілька видів міграції хімічних елементів у залежності від форм руху матерії. Це: 1) Механічна міграція: розсипи, вітрова та водна ерозія. При цьому хімічний склад елементів не має значення, і такі різні елементи, як K, Si, Al (входять до складу ортоклазу – $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$), мігрують з однаковою швидкістю. 2) Фізико-хімічна міграція (іонна, колоїдна, міграція газів) – це складні процеси, пов'язані з законами фізики та хімії (розчинення, осадження, сорбція та ін.). Механічна та фізико-хімічна міграції протікають за участю води й атмосфери. 3) Біогенна міграція – здійснюється в результаті діяльності живих організмів (ще складніша). Крім фізико-хімічних процесів, додаються процеси управління (організмом), переробка інформації та ін. 4) Техногенна міграція пов'язана з виробничою діяльністю людини. Це розробка родовищ корисних копалин, перевезення промислової сировини (нафтопродукти), продуктів харчування (експорт та імпорт продовольчих товарів) і т. ін. Усі види міграції тісно пов'язані й зустрічаються практично повсюди.

Значення видів міграції не однаково для різних елементів. Так, для калію і фосфору – особливе значення має біогенна, для Na і Cl – фізико-хімічна. Для Ti, Au, Pt – механічна. У різних зонах співвідношення видів міграції також не однаково. У пустелях зростає роль механічної, у вологих тропіках – фізико-хімічної та біогенної міграції.

Хоча в ландшафті всі види міграції зв'язані (механічна, фізико-хімічна і т. д.), все ж один з видів – головний. У біогенних ландшафтах провідною є біогенна міграція. Вона відрізняється найбільшою різноманітністю.

Зміна гірських порід у ландшафті – це приклад взаємозв'язку різних видів міграції. Таким є процес вивітрювання (руйнування порід) і цементації гірських порід. При вивітрюванні спочатку

¹ Гідратація – процес сорбції молекул води молекулами хімічних сполук. Дегідратація – зворотний процес ($\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}$; $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$).

має місце повний розклад первинного мінералу на лужні й кислотні компоненти (Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , SiO_2), а потім ці продукти частково знову сполучаються, утворюючи глинисті мінерали (в основному за рахунок взаємодії гідратів SiO_2 , Al_2O_3 і Fe_2O_3). При цементації (термін О.І. Перельмана) здійснюється акумуляція різноманітних водних мігрантів, які входять до складу гіпсу, вапняку, кремнезему, залістих та інших мінералів. У результаті цього відбувається утворення щільних горизонтів у ґрунтах (ілювіальний горизонт), утворення залістого панциру латеритів та ін. У кожному ландшафті протікають ці два процеси при тісній взаємодії механічної, фізико-хімічної та біогенної міграції. Причому одні й ті ж мінерали можуть утворюватись як біогенним, так і фізико-хімічним шляхом. Наприклад, кальцит у раковинах молюсків і у відкладах озер.

4. Рівняння інтенсивності міграції. Важливо визначити кількісну оцінку міграції елементів у ландшафті, а не тільки говорити "активні чи не активні". Про це можна судити за показниками інтенсивності міграції елементів.

Інтенсивність міграції – це кількість елементу, яка переходить у рухомий стан за одиницю часу. Наприклад, з гірських порід при вивітрюванні переходить у природні води. Іншими словами, інтенсивність міграції виражається швидкістю переходу в рухомий стан одного грама речовини даного елементу.

Інтенсивність міграції (P_x) показує відносну частину атомів, які перейшли в рухомий стан за одиницю часу. Якщо загальну кількість атомів даного елементу "x" у ландшафті, або його частині (ґрунті, гірській породі, організмах) позначити через V_x , а кількість атомів, які перейшли в рухомий стан (за проміжок часу Δt), буде ΔV_x , тоді відносна частина атомів, які перейшли в рухомий стан, буде: $\frac{\Delta V_x}{V_x}$; з урахуванням одиниці часу інтенсивності міграції буде: $\frac{\Delta V_x}{V_x \cdot t}$.

$$P_x = \frac{\Delta V_x}{V_x} \cdot \frac{1}{t} = \frac{\Delta V_x \cdot 1}{V_x \cdot t} = \frac{\Delta V_x}{V_x} \cdot \frac{1}{t}$$

З рівняння випливає, що чим більша величина V_x (кларк), при незмінності ΔV_x , тим менша інтенсивність міграції. Отже, при подібних хімічних властивостях (ситуаціях) елемент з мен-

шим кларком мігрує енергійніше (селен – енергійніше сірки, Sr – енергійніше кальцію та ін.).

5. Концентрація і розсіювання хімічних елементів. У результаті міграції хімічні елементи перерозподіляються, і через різний їх вміст в ґрунтах, корі вивітрювання, водах, організмах відрізняються від кларка. Ця різниця передається кларками концентрації (Кк). Кк – це відношення вмісту даного елемента в конкретному природному об'єкті до кларка літосфери (табл. 5). Найбільші величини Кк для ртуті та сурми, вміст яких у ґрунтах на ділянках родовищ може бути вищий від їх кларків у сотні тисяч разів. Високі Кк для золота, олова та ін. Для Fe, Mn, K, кларк концентрації не перевищує 10-100.

Кларками концентрації зручно відображати розподіл елементів по профілю ґрунтів, кори вивітрювання та ін., які відрізняються великою різноманітністю в кларках. Тому О.І. Перельман запропонував виражати вміст елементів не в масових процентах (кларках), а в Кк.

Якщо Кк менше 1, то для отримання більшої контрастності можна розрахувати зворотні величини – кларки розсіювання (Кр). Кр – це відношення кларка елемента в літосфері до його вмісту в даному природному об'єкті.

Багато дослідників використовують інші показники. Коефіцієнт концентрації (Кс): відношення вмісту елемента в об'єкті, що вивчається, до його фонового вмісту в компонентах оточуючого середовища. Коефіцієнт накопичення мікроелементів (коефіцієнт Шюу – R) – це середній кларк концентрації групи мікроелементів у об'єкті, що вивчається. Елювіально-акумулятивний коефіцієнт (Кеа) – відношення середнього вмісту даного елемента в тому чи іншому ґрунтового горизонті до середнього вмісту його в ґрунтоутворюючій породі (він характеризує відносний перерозподіл хімічного елемента у вертикальному профілі елементарного ландшафту).

Інтенсивність міграції часто різко зменшується на короткій відстані, що спричиняє значну концентрацію елементів. Такі ділянки часто називають *геохімічними бар'єрами*. Вони виникають у місцях розвантаження підземних вод (іржаві плями), на межі порід різного складу, на межі ґрунтових горизонтів, біля підніжжя схилів і т. д. Рудні тіла деяких родовищ корисних копалин утворились на геохімічних бар'єрах. Досить часто на бар'єрах концентрується комплекс елементів (парагена асоціа-

ція). Наприклад, на випарному бар'єрі в степах і пустелях концентруються Ca, Na, Mg, F, S, Sr, Cl, Zn, Nb, Cu, Ni, Al, Rb, Hg.

В основу класифікації бар'єрів покладені види міграції. Виділяють механічні, фізико-хімічні, біогеохімічні бар'єри (їх характеристика розглядається окремо в темі 4).

Таблиця 5

Геохімічні показники, які характеризують поширення і перерозподіл хімічних елементів у ландшафтах [27]

Показник	Індекси, які найчастіше використовуються	Розрахунок показника та його інформативність
1	2	3
Кларк	К	Показники абсолютної поширеності. Середній вміст хімічного елемента в якій-небудь космічній чи геохімічній системі, який виражається у вагових чи атомних процентах (Ферсман, 1933). Характеризує загальну поширеність елементів у геохімічній системі.
Місцевий кларк		Середній вміст хімічного елемента в даному об'єкті (Глазовська, 1964). Характеризує абсолютну поширеність елемента в компоненті ландшафту, який вивчається.
Кларк концентрації	Кк	Показники відносної поширеності. Відношення вмісту хімічного елемента в конкретному природному об'єкті до кларку літосфери. Характеризує ступінь концентрації елемента в геохімічній системі (Вернадський, 1937).
Кларк розсіяння	Кр	Відношення кларка елемента в літосфері до його вмісту в природному об'єкті. Характеризує ступінь розсіяння елемента в геохімічній системі при їх Кк < 1 (Перельман, 1975).
Коефіцієнт концентрації	Кс	Показник ступеня концентрації елемента (Ферсман, 1933). Відношення вмісту елемента в досліджуваному об'єкті до його фонового вмісту в компонентах навколишнього середовища. (Методичні рекомендації по геохімічній оцінці, 1982). Характеризує відношення вмістів елементів у двох порівнюючих об'єктах.
Коефіцієнт накопичення мікроелементів (коефіцієнт Шоу)	R	Середній кларк концентрації групи мікроелементів у об'єкті, який вивчається. Показник для порівняння загальної концентрації групи хімічних елементів у зразках по відношенню до їх вмісту в літосфері (Шоу, 1969).

Продовження таблиці №5

1	2	3
Елювіально-аккумулятивний коефіцієнт (коефіцієнт радіальної диференціації)	Kea Ea Kp	Відношення середнього вмісту даного хімічного елемента в тому чи іншому ґрунтовому горизонті до середнього вмісту його в ґрунтоутвірчій породі (Глазовська, 1964, 1965). Характеризує відносний перерозподіл хімічного елемента у вертикальному профілі елементарного ландшафту
Коефіцієнт місцевої міграції (коефіцієнт латеральної диференціації)	Км	Характеризує відносний перерозподіл хімічних елементів за геохімічним спряженням. Співвідношення вмісту елемента в підпорядкованому ландшафті до вмісту в автономному
Коефіцієнт місцевої мінеральної концентрації і розсіяння	Кл	Відношення середнього вмісту елемента в мінеральних горизонтах ґрунтів і корі вивітрювання (рихлих наносах) геохімічно підпорядкованого елементарного ландшафту до його середнього вмісту в тих же горизонтах автономного ландшафту (Глазовська, 1964, 1965).
Коефіцієнт місцевої біогенної концентрації		Відношення середнього вмісту елементів в органічних горизонтах ґрунтів (зокрема в підстилках) підпорядкованих ландшафтів до автономних геохімічних ландшафтів даної місцевості (Глазовська, 1965).

РОЗДІЛ 4: ВОДНА МІГРАЦІЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Основні питання:

1. Геохімічна роль води в ландшафті.
2. Хімічний склад і властивості води.
3. Класифікація вод за хімічним складом. Формула Курлова.
4. Мінеральні води.
5. Інтенсивність водної міграції.
6. Лужно-кислотні умови природних вод. Градації води за величиною рН.
7. Окисно-відновні умови природних вод. Три основні геохімічні обстановки в ландшафті.
8. Класи водної міграції. Водна міграції і класи елементарних ландшафтів.
9. Геохімічні бар'єри.

Література: 1) Гуцуляк В.М. Геохімія ландшафту.- Чернівці: Рута, 1994.- 82 с. 2) Перельман А.И. Геохимия ландшафта.- М.: Высш. шк., 1975.- С. 63-97. 3) Чертко Н.К. Геохимия ландшафта.- Минск: Изд-во БДУ, 1981.- С. 30-57.

Додаткова: 1) Алейкин О.А. Основы гидрохимии.- Л: Гидрометиздат, 1970.- 443 с. 2) Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов.-М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.- С. 54-79. 3) Перельман А.И. Геохимия природных вод.- М.: Наука, 1982.- 154 с. 4) Гуцуляк В.Н. Геохимические особенности ландшафтов Черновицкой области.- Черновцы: ЧНУ, 1989.- 31 с.- Деп. в Укр. НИИНТИ 04.11.89. № 2475 - Ук 89.

1. Геохімічна роль води в ландшафті. Питання водної міграції в ландшафті мають велике практичне значення. Водна міграція належить до фізико-хімічного виду міграції (тобто обумовлена фізико-хімічними законами).

О.І. Перельман пише, що вода - це кров ландшафту. М.А.Глазовська свої фундаментальні дослідження пов'язує з водною міграцією. З водною міграцією пов'язане водопостачання і водовідведення міст і сіл та ін.

Природна вода - головний геохімічний агент перерозподілу хімічних елементів у ландшафті. Вона бере участь у розкладі й осадженні мінералів шляхом розчинення, гідролізу, гідратації, седиментації та ін.

У біосфері відбувається грандіозний кругообіг води, який можна порівняти з біологічним кругообігом. Причому бік є основним джерелом хімічної енергії в ландшафті, а кругообіг води - механічної. Звичайно, вода здійснює й хімічну роботу (вивітрювання, розчинення і т. ін.). В аридних умовах із випаровуванням води пов'язано формування випарного геохімічного бар'єра в шорових солончаках, засолених ґрунтах і т. д., на яких концентруються Са, Na, К, Mg, F, S, Sr, Cl, Zn, Ni, Мо, V, Pb.

Водна міграція здійснюється через дифузію або фільтрацію. Дифузія має місце в малорухомих або застійних водах (болотні, мулові, ґрунтові води). У ландшафті більш поширена фільтрація, з якою пов'язано розчинення, іонний обмін (сорбція), осадження солей та ін. Загалом, води ландшафту за особливостями їх геохімічної діяльності можна поділити на такі групи: річкові, ґрунтові, підземні, озерні, морські, атмосферні.

2. Хімічний склад і властивості води залежать від її походження, а також розчинності та складу дренажних порід. Геохімічна діяльність води визначається такими її якостями: компонентний іонний склад, мінералізація, окислюваність, жорсткість, агресивність та ін. (О.І. Перельман вважає, що головне значення в геохімії мають окислювально-відновні властивості вод).

Важливими компонентами вод ландшафту є розчинні гази, особливо O_2 , CO_2 , H_2 . Значна частина розчинних мінеральних речовин знаходиться у вигляді іонів, серед яких переважають Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- (шестикомпонентний склад) і які складають більше 90% вмісту. Причому, у більшості випадків $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ і $HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$. Всі води містять також H^+ і OH^- (як правило їх вміст 10^{-5} - 10^{-6} г/л).

Мікроелементи в природних водах також зустрічаються, але в дуже малих концентраціях. Це катіони важких металів (Cu^{2+} , Ag^+ , Au^+ , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , та ін.) - як правило, не більше 10^{-5} - 10^{-7} г/л; типові аніони (Br^- , I^- , F^- , B^{3-}); радіоактивні елементи. Основна причина низьких концентрацій мікроелементів у воді - мала міграційна здатність.

Крім іонів, розчинні речовини (включаючи мікроелементи) можуть бути присутні у вигляді завислих речовин, колоїдів (гідроокисли металів), у формі комплексних сполук, які утворюються з гуміновими та іншими кислотами, у вигляді недисоційованих і напівдисоційованих молекул. Амфотерні комплексотворювачі - Cr, Mo, V, Mn.

У воді знаходяться біогенні речовини - це мінеральні форми азоту, фосфору, кремнію, заліза.

Геохімічна діяльність води залежить і від загальної мінералізації, яка розраховується в мг/л або проміле - ‰ (в океанічній практиці). Загальна мінералізація - це сума розчинних мінеральних речовин у літрі води. Вона коливається в межах 0,02 - 400 г/л. (В океанічній практиці замість мінералізації використовують термін "солоність", яку виражають в ‰ - коли більше 1000 мг/л. Середня солоність світового океану - 35 ‰.)

Класифікація вод за ступенем мінералізації (за Овчинником, 1949) в г/л (г/дм³): ультрапрісні (до 0,2); прісні (0,2-1,0); солонуваті (1,0-3,0); солоні (3,0-35); розсоли (>35).

Закономірності їх географічного поширення такі: ультрапрісними бувають атмосферні опади, поверхневі води тундри, тайги,

вологих тропічних лісів. Прісні води характерні для південної та середньої тайги, широколистяних лісів, лісостепу, степів, саван. Солонуваті, солоні води і розсоли - для аридних ландшафтів.

Оцінка вод за граничною нормою мінералізації (за О.А. Альокінім, 1970): хороша (до 1 г/л), задовільна (1-2 г/л), допустима для пиття (2-2,5), гранична (2,5-3).⁷

Як правило, мінералізація питної води не повинна перевищувати 1 г/л (за Держстандартом). Прісні води найкращі для пиття, ультрапрісні сприятливі, але вимивають солі з організму, понижують осмотичний тиск. Солонуваті (1-3 г/л) придатні для водопостачання, а для пиття - в окремих випадках. Солоні (до 10 г/л) п'ють лише верблюди в пустелях, при мінералізації 10-50 г/л і більше - не п'ють.

Середній вміст основних хімічних компонентів ґрунтових вод Чернівецької області наводиться в таблиці 6.

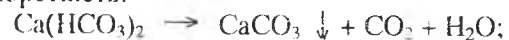
Окислюваність води - це кількість кисню (O₂), яка витрачається на окислення органічних речовин (в 1 л води). Відрізняють перманганатну і біхроматну окислюваність (в залежності від методу визначення). Про наявність органічних речовин у воді дає уяву забарвленість води (в градусах).

Окислюваність вод коливається від долей міліграмів до десятків міліграмів атомарного кисню в 1 л, у залежності від ступеня їх забрудненості органічною речовиною.

У фізико-географічному відношенні підвищені значення окислюваності (15-20 мг/л) мають води тайги; малі значення (2-5) - гірські області та середні (5-10) - інші природні зони (від широколистяних лісів до напівпустель).

Жорсткість води визначається сумою іонів кальцію і магнію. За величиною загальної жорсткості (Ca²⁺ + Mg²⁺) розрізняють такі категорії вод, в мг-екв/л: 1) дуже м'які - < 1,5; 2) м'які - 1,5-3,0; 3) помірно жорсткі - 3,0-6,0; 4) жорсткі - 6,0-9,0; 5) дуже жорсткі - > 9,0 (Чертко, 1981). Для Чернівецької області, наприклад, прийняті такі відповідні показники жорсткості: 1) 1,5; 2) 1,5-5; 3) 5-10; 4) 10-20; 5) > 20 мг-екв/л (Гуцуляк, 1990). За Держстандартом питна вода - до 9 мг-екв/л (табл.6; 7).

При кипінні води частково виводиться кальцій і магній та зникає жорсткість:



Із води виділяється двооксид вуглецю і відбувається зміщен-

ня карбонатної рівноваги вправо, в осадах (накип) виділяються карбонати кальцію і магнію. Жорсткість виражається також у німецьких градусах (1° = 0,36 мг-екв, або 1 мг-екв = 2,8°)

Агресивність води - властивість розчиняти гірські породи, будівельні матеріали. Розрізняють п'ять видів агресивності води: вуглекислотна (CO₂), вилуговуюча (HCO₃⁻ -розчинює карбонати), загальнокислотна (рН), сульфатна (SO₄²⁻), магнезіальна (Mg).

Органолептичні властивості - ті, які оцінюються за допомогою органів відчуття (смак, запах, колір та ін.). Основні вимоги фізичних властивостей води - відсутність неприємного запаху, смаку, кольору.

Для природних вод установлені гранично-допустимі концентрації (ГДК) хімічних речовин (див. табл. 7).

3. В основу класифікації вод за хімічним складом покладена концентрація іонів і співвідношення катіонів і аніонів. За вмістом переважаючих аніонів природні води поділяються на три класи: гідрокарбонатні (HCO₃⁻), сульфатні (SO₄²⁻), хлоридні (Cl⁻). За переважаючим катіоном кожен із указаних класів поділяється на три групи: кальцієві, магнієві, натрієві (табл. 8).

Назва типів води дається за провідними іонами, причому на початку називають аніони, потім катіони. Наприклад, у складі вод міститься катіонів мг/л: Ca²⁺ - 79,3; Mg²⁺ - 12,9; Na⁺ + K⁺ - 14,2 і аніонів: HCO₃⁻ - 145,0; SO₄²⁻ - 38,1; Cl⁻ - 10,2; NO₃⁻ - 0,1. Назва даної води - гідрокарбонатно-кальцієва.

Для більш точного визначення використовують інші одиниці вимірювання: мг-екв, процент-екв (%-екв)⁸. Другий за вмістом аніон і катіон включають у назву води, якщо він поступається першому не більше, ніж на 10 %-екв і ставиться в назву перед першим катіоном і аніоном. Наприклад, у складі сульфатно-гідрокарбонатно-магнієво-кальцієвих вод вміст іонів такий: HCO₃⁻ - 45 %-екв, SO₄²⁻ - 40, Cl⁻ - 10, Ca²⁺ - 40, Mg²⁺ - 31, K - 12 %-екв. Переважаючий серед катіонів або аніонів ставиться в кінці.

⁸ Для переведення вмісту елементів із грамів на літри в г-екв/л (мг-екв/л) необхідно розділити величину вмісту елемента в г/л на еквівалентну масу елемента. Наприклад, вміст HCO₃⁻ - 0,145 г/л, а молекулярна маса - 61, значить 0,145·61 = 2,38 мг-екв/л. Процент-екв (%-екв) обчислюють за формулою $\sum \frac{C}{100} : (a + k)$, де а - вміст даного іона (мг-екв/л), С - сума аніонів, к - сума катіонів (мг-екв/л)

Таблиця 6

Середні (фонові) значення вмісту основних водорозчинних компонентів

Регіони	pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ K ⁺		Загальна мінералізація, г/л	Жорсткість, мг-екв/л
							Мг/л	Мг/л		
Лісо-степовий	7,3	$\frac{470}{7,7}$	$\frac{60-70}{1,7-2,8}$	$\frac{140-150}{2,9-3,1}$	$\frac{140}{7,0}$	$\frac{40}{3,3}$	$\frac{60}{2,6}$	$\frac{60}{2,6}$	0,70	10,2
Лісо-луготиний	7,1	$\frac{320}{5,2}$	$\frac{40-50}{1,1-1,4}$	$\frac{70-80}{1,4-1,6}$	$\frac{90-95}{4,5-4,7}$	$\frac{20}{1,6}$	$\frac{40}{1,7}$	$\frac{40}{1,7}$	0,45	6,3
Гірський	7,1	$\frac{260}{4,3}$	$\frac{23-35}{0,7-1,0}$	$\frac{85-95}{1,7-1,9}$	$\frac{90-95}{4,5-4,7}$	$\frac{16}{0,7}$	$\frac{35}{1,5}$	$\frac{35}{1,5}$	0,40	6,0
Область в цілому	7,2	$\frac{420}{6,9}$	$\frac{60}{1,7}$	$\frac{120}{2,6}$	$\frac{120}{6,0}$	$\frac{30}{2,5}$	$\frac{55}{2,3}$	$\frac{55}{2,3}$	0,60	9,0

Примітка: Дані аналізів більше 300 зразків ґрунтових вод.

Таблиця 7

Гранично допустимі концентрації (норми) хімічних речовин у воді (за різними джерелами)

Інгредієнти	Допустимі норми, мг/л	Інгредієнти	Допустимі норми, мг/л
Сульфати (SO ₄ ²⁻)	200	Цинк (Zn ²⁺)	1-5
Хлориди (Cl ⁻)	250	Залізо (Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	0,3
Кальцій (Ca ²⁺)	150	Мідь (Cu ²⁺)	0,1
Магній (Mg ²⁺)	50	Нікель (Ni ²⁺)	0,1
Натрій (Na ⁺)	100	Марганець (Mn ²⁺)	0,1
Діоксид вуглецю вільний (CO ₂)	50	Алюміній (Al ³⁺)	0,05
Нітрати (NO ₃)	10	Хром (Cr ³⁺)	0,05
Нітриди (NO ₂)	1	Свинець (Pb ²⁺)	0,05
Амоній (NH ₄ ⁺)	1	Миш'як (As ³⁺)	0,05
Кисень розчинний (O ₂)	6	Селен (Se ⁴⁺)	0,01-0,001
Органічні речовини БПК (O ₂)	5	Кадмій (Cd ²⁺)	0,001
Фтор (F)	1,2	Ртуть (Hg ²⁺)	0,001
Фосфати (PO ₄ ³⁻)	0,1	Талій (Tl ³⁺)	0,0001
Фосфор (P)	0	Берилій (Be ²⁺)	0,0001
Сірководень і сульфиди (S)	0	Мінералізація	до 1000-1500 мг/л
Аміак (NH ₃)	0	Концентрація йона	- 6,5-7,5
		Жорсткість	до 7-9 мг-екв/л

Таблиця 8

Класифікація вод (за Алюккінім, 1970).

Класи (за переважаючим аніоном)	Групи (за переважаючим катіоном)	Типи (за провідним катіоном і аніоном) - приклади
1. Гідрокарбонатні (HCO ₃ ⁻)	кальцієві (Ca ²⁺)	гідрокарбонатно-кальцієві
2. Сульфатні (SO ₄ ²⁻)	магнієві (Mg ²⁺)	сульфатно-кальцієві
3. Хлоридні (Cl ⁻)	натрієві (Na ⁺)	гідрокарбонатно-магнієві і т.д.

Можливий і такий варіант назви типів води: гідрокарбонатно-сульфатний (натрієво-кальцієвий, кальцієво-магнієвий) з мінералізацією 1,0-3,0 г/л і рН 6,7-7,4.

Для наочного зображення складу води використовується формула Курлова. У чисельнику - аніони (в %-екв), в знаменнику - катіони. До формули включаються лише ті іони, вміст яких виражається кількістю, що перевищує 5 %-екв. Перед дробом дається величина мінералізації (в г/л).

Наприклад:
$$M0.5 = \frac{HCO_3, 70, SO_4, 16, Cl 10}{Ca 62, Mg 16, K 11}$$

4. Мінеральні води. Як правило, це підземні води, які характеризуються підвищеним вмістом деяких біологічно активних компонентів (CO₂, H₂S, As та ін.) і часто мають підвищену t⁰ і радіоактивність. Межею між прісними і мінеральними водами, як правило, вважають мінералізацію 1 г/л.

За мінералізацією розрізняють: слабомінералізовані мінеральні води (1-2 г/л), малої мінералізації (2-5 г/л), середньої (5-15 г/л), високої (15-30 г/л), розсоли (35-150 г/л).

За іонним складом мінеральні води поділяються на хлоридні (Cl⁻), гідрокарбонатні (HCO₃⁻), сульфатні (SO₄²⁻), натрієві (Na⁺), кальцієві (Ca²⁺), магнієві (Mg²⁺) та ін. За газовим складом та специфічними елементами розрізняють вуглекислі, сульфідні (сірководневі), азотні, бромисті, йодисті, залістисті, миш'якові, кремнієві, родонові та ін. Використовуються, головним чином, для курортно-санаторного лікування і як столова вода.

Нижче наводиться формула Курлова для мінеральних вод "Нафтуся" (Трускавець) та "Моршинська".

"Нафтуся":
$$M0.6 - 0.8 = \frac{HCO_3, 40}{Ca 25, Mg 18}$$

Тип води: гідрокарбонатна, магнієво-кальцієва, слабомінералізована з високим вмістом органічних речовин нафтового походження. Аналогів немає.

"Моршинська":
$$M0.3 = \frac{HCO_3, 22, SO_4, 19, Cl 18}{Ca 22, Mg 10, Na + K 17}$$

Тип води: сульфатно-гідрокарбонатна, натрієво-кальцієва, слабомінералізована.

5. Інтенсивність водної міграції. Більшість хімічних елементів мігрує у водних розчинах (іонних, молекулярних або колоїдних). Б.Б. Полинов розробив метод кількісної оцінки інтенсивності водної міграції елементів у корі вивітрювання.

Цей метод полягає у порівнянні хімічного складу річкових вод зі складом гірських порід, які дренуються даною річкою.

На основі методу Полинова, Перельман запропонував коефіцієнт водної міграції (K_x), який дорівнює відношенню вмісту даного елемента в мінеральному залишку води до його вмісту в гірських породах, які дренують ці води (m_x / p_x).

Розрахункова формула для визначення коефіцієнта водної міграції (K_x) має такий вигляд:

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot p_x}$$

де m_x - вміст елемента x у воді (в г/л),

p_x - вміст елемента x у породі (в %),

a - сума мінеральних речовин, які розчинені у воді (в г/л).

Приклад. Визначити коефіцієнт водної міграції (K_x) для Sr, якщо його кларк (p_x) у гірських породах річкового басейну складає:

3,4 · 10⁻² %, вміст Sr у воді (m_x) 1,8 · 10⁻⁴ г/л, сума мінеральних речовин (a) річкової води 0.5 г/л.

$$K_{Sr} = \frac{(1.8 \cdot 10^{-4}) \cdot 100}{0.5 \cdot (3.4 \cdot 10^{-2})} = 1.06$$

K_x можна розрахувати для будь-якого елемента в абсолютних величинах, а не відносних (чого не можна було досягти попередніми методами).

Чим більше K_x, тим інтенсивніше елемент вимивається з порід, тим більше його водна міграція в розчині (табл. 9).

Ряди водної міграції хімічних елементів (в окисному і відновному сірководневому середовищі) наводяться в таблиці 10.

Хімічні елементи мігрують не ізольовано, а в сполуках один з одним. Наприклад: Cl, S мігрують частіше з Na, в меншій мірі з Ca і Mg. Низький вміст у водах таких елементів, як I, Br, Se та ін. свідчить не про низьку розчинність їх сполук, а про малий кларк (малу поширеність у природі). Отже, мають значення і кларки.

Великий вплив, як уже зазначалося, на розчинність мають лужно-кислотні й окисно-відновні умови природних вод.

Таблиця 9
Інтенсивність міграції елементів у підземних водах
(за О.І. Перельманом, 1982)

Елемент	Вміст елемента у підземних водах (пх) зони гипергенезу (за С.Л.Шварцевим), г/л	Вміст елемента (пх) в літосфері (за А.П.Виноградовим), %	Коефіцієнт водної міграції, Кх
1	2	3	4
Cl	$4.7 \cdot 10^{-2}$	$1.7 \cdot 10^{-2}$	644
Br	$1.83 \cdot 10^{-4}$	$2.1 \cdot 10^{-6}$	203
I	$1.61 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-5}$	99
Mg	$1.86 \cdot 10^{-2}$	1.87	2.3
Ca	$4.3 \cdot 10^{-2}$	2.96	3.3
Na	$4.55 \cdot 10^{-2}$	2.50	4.2
F	$4.5 \cdot 10^{-3}$	$6.6 \cdot 10^{-2}$	1.6
Zn	$3.4 \cdot 10^{-3}$	$8.3 \cdot 10^{-3}$	0.94
Sr	$1.85 \cdot 10^{-4}$	$3.4 \cdot 10^{-2}$	1.06
Mo	$2.06 \cdot 10^{-6}$	$1.1 \cdot 10^{-4}$	4.4
K	$4.59 \cdot 10^{-3}$	2.50	0.43
P	$5.75 \cdot 10^{-3}$	$9.3 \cdot 10^{-2}$	0.14
Mn	$4.94 \cdot 10^{-3}$	0.1	0.11
Ni	$3.31 \cdot 10^{-6}$	$5.8 \cdot 10^{-3}$	0.13
Cu	$5.58 \cdot 10^{-6}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$	0.27
Fe	$5.47 \cdot 10^{-4}$	4.65	0.02
Al	$2.79 \cdot 10^{-4}$	8.05	0.008
Ti	$1.07 \cdot 10^{-3}$	0.45	0.005
Cr	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$8.3 \cdot 10^{-3}$	0.08
V	$2.06 \cdot 10^{-6}$	$9.0 \cdot 10^{-3}$	0.05
Zr	$1.30 \cdot 10^{-6}$	$1.7 \cdot 10^{-2}$	0.017
Th	$4.3 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-1}$	0.07

Таблиця 10

Ряди водної міграції елементів
(за А.І. Перельманом, 1982)

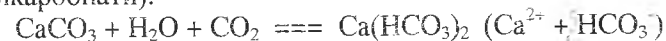
Інтенсивність міграції	Коефіцієнт водної міграції	Склад ряду ¹
Дуже сильна	$n \cdot 10 - n \cdot 100$	S, Cl, Br, I
Сильна	$n - n \cdot 10$	Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn, U, Mo, Se, Au
Середня	$0, n - n$	Si, K, Mn, P, Ba, Rb, Ni, Cu, Li, Co, Cs, As, Tl, Ra
Слаба і дуже слаба	$0,0 n - i$ менше	Al, Fe, Ti, Zr, Th, та ін.

¹ У порядку зменшення кларку земної кори.

6. Лужно-кислотні умови природних вод (рН) - наступний важливий параметр. рН коливається від 0 до 14. рН 7- нейтральний, >7 - лужний, <7 - до кислого. (Розчинність хімічних сполук більша в кислих середовищах, ніж в нейтральних). Величина рН залежить в основному від співвідношення концентрації вугільної кислоти та її іонів. Утворення H_2CO_3 проходить за рахунок розчинення CO_2 із повітря (також гниття органіки).

$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$ (рівновага зміщується вліво, при нагріванні CO_2 випаровується). Вугільна кислота дисоціює у воді:

$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons 2H^+ + CO_3^{2-}$. Виділяється H^+ (утворення CO_3^{2-} слабе). При розчиненні у воді карбонатних порід (вапняки, мергелі, доломіти) утворюються гідрокарбонати (бікарбонати).



$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$. Отже, збільшується кількість OH^- і зменшується H^+ (води більш лужні). При зворотній реакції (тобто зліва направо) проходить випадання $CaCO_3$ ($MgCO_3$) і утворення в природі осадових порід. (У природній воді $Ca(HCO_3)_2$ добре розчинний, а $CaCO_3$ -слабо).

Градації води за величиною рН:

Сильнокислі з рН $\leq 3-4$: спричинено вільною сірчаною кислотою (в районах із сульфідними рудами), рідше соляною кислотою (у вулканічних районах). Наприклад, на Курилах є річка з рН води - 1,7.

Кислі та слабокислі води з рН 4-6,5: спричинено, в основному, органічними кислотами і вугільною кислотою. Бактерії розкладають органіку й утворюється CO_2 і органічні кислоти (неповний розклад дають органічні кислоти - фульвокислота та ін.). Такі води характерні для всіх гумідних ландшафтів. Кислі та слабокислі води сприятливі для міграції металів - Ca, Ba, Fe, Sr, Zn, Ni та ін.

Нейтральні та слаболужні води з рН 6,5-8,5 формуються, коли є нейтралізуюча речовина - бікарбонати кальцію - $Ca(HCO_3)_2$. Ці води - в аридних ландшафтах, де ґрунти карбонатні, або в гумідних на вапняках, трапах, базальтах. Вони зональні: починаються від чорноземних степів і південніше. Води ці не сприятливі для міграції багатьох металів, оскільки останні осідають. Мігрує в цих водах Cr^{6+} , Mo, V^{5+} , As. (Багато елементів рухомі як у кислому, так і в лужному середовищі, наприклад, Na, K, Cl,

Вг, І та ін.).

Сильнолужні води (содові) з $pH > 8,5$. Пов'язано з наявністю соди (Na_2CO_3 або $NaHCO_3$). Містять соду солонці. Тут річки також содові (Барабіна, Якутська низовина, ін.). Якщо у воді є сода, то не мігрує Ca і Mg (осідають у вигляді $CaCO_3$, $MgCO_3$).

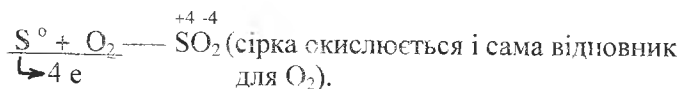
У зв'язку з лужно-кислотними умовами вод існує багато геохімічних проблем. Найбільш сприятливе для організмів середовище, де pH близьке до нейтрального. Вивчення pH вод і ґрунтів має значення для водопостачання, для сільського господарства, гідротехнічного будівництва, має екологічне значення. Відомо, що як нестача, так і надлишок кальцію призводять до захворювань людини (каміння в нирках та ін.).

При вивченні ґрунтів потрібно мати на увазі, що в різних горизонтах може бути різна кислотність. Ось чому при класифікації ландшафтів в основу береться горизонт А (центр), він впливає на ґрунтові води (Перельман, 1975). Може бути кислий горизонт А ґрунтів і нейтральні ґрунтові води. Протягом розвитку ландшафту pH може змінюватись. Минулі лужні умови при сухому кліматі і багатому вмісту Ca і Mg можуть змінитись на кислі за рахунок збільшення опадів і вилуговування металів (які нейтралізують кислі речовини).

7. Окисно-відновні умови природних вод. У ландшафтах постійно мають місце окисно-відновні реакції. Окисленням називається віддача електронів, а відновленням - придбання електронів. (Окислювач приймає, а відновник віддає електрони). Головними окислювачами в ландшафті є вільний кисень атмосфери (O_2), а також хімічні елементи, які здатні приймати електрони. Це трьохвалентне залізо Fe^{3+} , чотирьохвалентний марганець Mn^{4+} , шестивалентна сірка S^{6+} , п'ятивалентний азот N^{5+} та ін. Відновники: Fe^{2+} , S^{2+} , H^+ , Mn^{2+} , Cu^+ , Cr^{3+} , органічні речовини (органічні кислоти) та ін.

Деякі елементи можуть бути й окислювачами, і відновниками. Так, Fe^{3+} - окислювач, а Fe^{2+} - відновник, або Mn^{4+} - окислювач, а Mn^{2+} - відновник. Атоми чим легше окислюються, тим легше вони віддають електрони, і тим легше відновлюються, чим легше вони приймають електрони.

Приклад окисно-відновних реакцій:



Дуже легко віддають свої електрони і вступають у хімічні реакції лужні й лужноземельні метали (K, Na, Ca, Mg). Ці метали легко вступають у реакцію з Cl та іншими окислювачами. Ось чому вони не зустрічаються на земній поверхні у вигляді самородних металів. Легко приймають електрони Cl, F та ін.

Для того аби щось окислилось, потрібно, аби щось відновилось. Наприклад, при окисленні органічних речовин (у тундрі) кисень береться від окислів (Fe_2O_3) і ці окисли переходять у закиси (FeO). Створюється окисно-відновне середовище.

Для характеристики можливості до окислення та відновлення використовується окисно-відновний потенціал (Eh) атомів і молекул, який вимірюється у вольтах. Цей потенціал може бути з мінусом і плюсом. Стандартним береться нульовий - він є у водню.

$H_2 - 2e = 2H^+$ (E_0 - стандартний потенціал, E_h - "двоюрідний брат" pH).

В залежності від E_h багато елементів мають різну валентність (Fe^{3+} , Fe^{2+} , S^{6+} , S^{2+} , V^{5+} , V^{2+} , Cu^{2+} , Cu^+ та ін.).

Значення E_h і pH дозволяє зробити висновки про міграційну здатність елементів у конкретних ландшафтах. Наприклад, якщо в болотах тайги і тундри є Fe^{2+} , то тут не може бути багато сполук чотирьохвалентного марганцю і свинцю, хрому шестивалентного, чотирьохвалентного кобальту, п'ятивалентного ванадію та ін., потенціал яких вище 2-валентного заліза. Тут Fe^{2+} буде діяти на ці сполуки як відновник. Отже, в болотах, де багато Fe^{2+} , немає хроматів. Їх можна виявити в пустелях, де залізо знаходиться в формі Fe^{3+} і його окислювальний потенціал досить високий. Зате в болотах разом з Fe^{2+} знаходяться сполуки Cu^+ , Si^{2+} та ін., у яких потенціал нижчий.

Перельман виділяє три основні окисно-відновні ситуації в ландшафті: 1) окисна, 2) відновна без H_2S (глейова) і 3) відновна з H_2S .

В основу виділення цих обстановок він поклав поведінку заліза. Ця поведінка полягає в тому, що залізо, маючи високий кларк (4,65), показує зміну окисно-відновних умов через зміну забарвлення порід і ґрунтів; отже, є індикатором. Сполуки Fe^{3+} мають червоно-буре забарвлення, а сполуки Fe^{2+} - зеленувате або сізе.

Вказані три обстановки водної міграції відрізняються складом розчинних газів (O_2 , CO_2 , H_2S).

Окисна (киснева) обстановка. У водах розчинено кисень (із повітря або фотосинтезу рослин). Кисневі води переважають у ландшафті (ріки, озера, ґрунтові води, пластові води та ін.). Гідрогеологи довели, що води проникають вглиб по тріщинах до 3-х км і більше (що, як правило, збігається з рівнем ґрунтових вод). Якщо у воді є O_2 , то тут є й аеробні бактерії, які окислюють речовини. В цих водах диктатором є кисень. Якщо є сірка, то вона окислюється до SO_4^- , або Fe^{2+} переходить у Fe^{3+} . У таких водах слабо мігрує Fe^{3+} , Mn^{4+} (утворюють важкорозчинні сполуки), краще мігрують Cr , V .

Відновна (глеєва) або безкиснева обстановка. Тут розвиваються анаеробні бактерії. Немає кисню для дихання і бактерії відбирають його у мінеральних і органічних сполук (які відновлюються, набувають менший ступінь окислення) та використовують кисень для окислення органічних речовин.

Безкисневі води містять CH_4 , Fe^{2+} , H^+ , Mn^{2+} та ін. У таких ландшафтах є оглеєння (індикатор - залізо 2-валентне). H_2S не утворюється, або утворюється мало, бо води містять мало SO_4^- , слабо мінералізовані. В цих водах добре мігрує Fe^{2+} , Mn^{2+} , Au , Cu , Zn , Co , Ni , Pb (глеєві води можуть розчиняти золото).

Відновне середовище утворюється в болотах усіх зон (вологотропічна, тундрова, тайга, лісостеп), намулах, в деяких ґрунтових водах, річках Сибіру під панциром льоду, відбуваються замори риби (Eh нижче + 0,4 В, місцями нижче 0). Відновне середовище виникає і в гумусовому горизонті ґрунтів. Для практичних цілей глеєві води не сприятливі: залізо, коли окислюється, забиває водопровідні труби.

Відновна (безкиснева) обстановка з H_2S (безглеєва). Утворюється в озерах з болотами, де у воді багато сульфатів. Під впливом анаеробних бактерій сульфати перетворюються на сірководень ($SO_4^- \rightarrow H_2S$), йде десульфурізація. Оглеєння не розвивається. У цих водах за рахунок вмісту H_2S утворюється чорний мінерал гідротроліт ($Fe \cdot nH_2O$), галеніт ($Pb \cdot nH_2O$), ін. Отже, більшість металів дають нерозчинні сполуки (йде народження мінералів).

З геохімічної позиції, ці води протилежні глеєвим. У глеєвих добре мігрує більшість елементів, у сірководневих - ні. (Величини Eh низькі, часто нижчі 0, до - 0,5 В).

Поширені такі води в аридних ландшафтах (тут SO_4^- переходить в H_2S), пояс озер від Молдови до Середньої Азії й Казах-

стану. Такі "грязі" - лікувальні (лимани Одеси). Інколи зустрічаються тільки сірководневі води (Мацеста). тут функціонують сіркоредакуючі бактерії. Ресурси сірководневих вод використовують мало, це можна здійснити у кожному господарстві. На півночі немає сірководневих вод тому, що мало мінеральних вод. Формуються вони на півночі там, де є виходи глибинних сірководневих вод (грязі Юрмалі).

Отже, у водах ландшафтів протікають як відновна, так і окисна реакції. Окисні, як правило, переважають вище кисневої поверхні, нижче її - води відновні (Eh малий). Межа окисної й відновної обстановки (за Eh) залежить від рН вод. У кислих водах тайги ця границя відповідає приблизно $Eh + 0.4$ В, у лужних водах степів понижується. Зі зміною окисно-відновних умов пов'язані геохімічні бар'єри. Наприклад, у місцях виходу на поверхню глеєвих вод, які збагачені залізом і марганцем, осідають їх гідроокисли, при цьому утворюються залізомарганцеві конкреції, болотні й озерні руди. У зоні контакту кисневих і глеєвих вод з сірководневим середовищем осідає багато металів, утворюючи сульфідні (пірит, гідротроліт, халькозин, галеніт, ін.). Усе це відбувається на відновних бар'єрах.

8. Класи водної міграції. В основу виділення класів водної міграції елементів покладені О.І.Перельманом типоморфні елементи та сполуки, які визначають лужно-кислотні й окисно-відновні умови (табл. 11). Окисній обстановці (де O_2 - типоморфний повітряний мігрант) можуть відповідати реакції середовища і різні типоморфні водні мігранти. Так, у кислому середовищі типоморфні іони водню і сульфат-іона (клас сірчаноокислий), у слабкокислій нарівні з воднем і кальцій (клас кислий кальцієвий) і та ін.

Для відновної глеєвої обстановки характерні типоморфні елементи серед яких виділяється іон Fe^{2+} (індикатор). Назва цього класу водної міграції доповнюється терміном "глеєвий". Наприклад, H-Fe - клас у заболочених ділянках тайги. Ca-Fe - клас у заболочених пониженнях степів.

У ландшафтах з відповідною сірководневою обстановкою типоморфні ті ж елементи, що і в окисній, плюс сірководень. H_2S утворюється в результаті відновлення органічної речовини та сірчаноокислих солей при недостатці кисню. Наприклад, у лужних солончаках формується карбонатний сульфідний клас (Ca - H_2S), тут реакція нейтральна. Або на торф'яних болотах, де реа-

кція кисла - кислий сульфідний клас (Н - H₂S).

Таблиця 11

Основні класи водної міграції хімічних елементів (за О.І. Перельманом, 1975)

Лужно-кислотні умови	Геохімічні обстановки		
	Окислювальна	Відновна глесва	Відновна сірководнева
Сильнокислі рН < 4	I. Сірчаноокислий (H ⁺ , SO ₄ ²⁻) II. Соляноокислий (H ⁺ , Cl ⁻)	XI. Сірчаноокислий глесвий (H ⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe ²⁺)	XVII. Сірчаноокислий сульфідний (H ⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ₂ S)
Кислі рН 4-5	III. Кислий (H ⁺) IV. Кислий на кварцевих пісках (H ⁺)	XII. Кислий глесвий (H ⁺ , Fe ²⁺)	XVIII. Кислий сульфідний (H ⁺ , H ₂ S)
Слабокислі рН 5-5.6	V. Кислий кальцієвий (H ⁺ , Ca ²⁺)		
Нейтральні рН 7	VI. Кальцієвий (Ca ²⁺)	XIII. Карбонатний глесвий (Ca ²⁺ , Fe ²⁺)	XIX. Карбонатний сульфідний (Ca ²⁺ , H ₂ S)
Слаболужні, лужні рН 7.5-9	VII. Кальцієво-натрієвий (Ca ²⁺ , Na ⁺)		
	VIII. Гіпсовий (Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻)	XIV. Гіпсовий глесвий (Ca ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , Fe ²⁺)	
	IX. Соленосний (Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻)	XV. Соленосний глесвий (Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Fe ²⁺)	XX. Соленосний сульфідний (Na ⁺ , H ₂ S)
Сильнолужні рН > 9	X. Содовий (Na ⁺ , OH ⁻)	XVI. Содовий глесвий (Na ⁺ , OH ⁻ , Fe ²⁺)	XXI. Содовий сірководневий (Na ⁺ , OH ⁻ , H ₂ S)

Водна міграція й класи елементарних ландшафтів (ЕЛ). В основу виділення класу ландшафту покладена водна міграція в гумусному горизонті ґрунту, оскільки для цього характерна напруга геохімічних процесів. Це центр ландшафту. Класи утворюються за типоморфними елементами: Н - клас, Са - клас, Na - клас, Н-Са - клас, Н-Fe (кисло-глесвий) та ін., які в межах окремих родин (типів) ландшафтів можуть бути різними.

Класи ЕЛ не зональні, вони залежать як від клімату, так і лі-

тогенної основи. Наприклад, Са - клас може бути в різних зонах (на вапняках), навіть у тайзі (поряд з кислим), тундрі, вологих тропіках; Н-Fe - клас, Са-Fe - клас – у заболочених ландшафтах різних зон.

9. Геохімічні бар'єри. Концепцію розвинув О.І. Перельман. Геохімічний бар'єр - це ділянка різкої зміни геохімічної обстановки, яка призводить до осаду міграційних елементів. Наприклад, межа між кислою і лужною реакцією середовища, відновною й окисною обстановкою, піщаними і глинистими породами. Виділяють три основні групи бар'єрів: механічний, біо-геохімічний і фізико-хімічний.

Механічний - утворюється в результаті зміни рихлих порід на щільні, пори яких за розміром менші, ніж іони мігруючих сполук. У результаті припиняється міграція. Цей бар'єр характерний для елементів групи благородних металів, які зустрічаються в самородному стані й утворюють слаборозчинні сполуки - Au, Pt, Ti, Cr, ін.

Біохімічний бар'єр - здатність живих організмів утримувати хімічні елементи (будують тканини і знову пограпляють у міграційні потоки після відмирання організму).

Фізико-хімічні бар'єри пов'язані із зміною фізичних і хімічних умов міграції. Відрізняють окисний, відновний глесвий, відновний сірководневий, кислий, лужний, нейтральний, випарний, сорбційний, сульфатний бар'єри.

Окисний формується на межі зміни відновної обстановки на окисну. Наявність вільного кисню та інших окислювачів приводить до утворення нерозчинних окисних сполук, що характерно для заліза, марганцю (іржаві плями біля джерел).

Відновний глесвий бар'єр перешкоджає міграції відновних сполук селену, ванадію, урану, молибдену, кобальту, які випадають в осад.

Відновний сірководневий бар'єр формується там, де є умови для утворення сірководню. Вступаючи в геохімічну реакцію з металами, сірководень утворює сульфіди металів (FeS, PbS), які випадають в осад. На цьому бар'єрі затримується міграція Fe, V, Sn, Ni, Co, Cu, Pb, Cd, Hg, Se (утворюють лікувальні грязі).

Кислий - формується при зміні лужної або нейтральної реакції на кислу. Такий бар'єр затримує міграцію Si, Mo, Se, Hg, сполуки яких в кислому середовищі слаборозчинні.

Лужний - утворюється на межі зміни кислої або нейтральної

реакції на лужну. В умовах лужного середовища сполуки Fe, Ca, Mg, Zn, Cu, Ni, Co, Pb, V, Cd переходять в слабозчинні сполуки.

Нейтральний або кальцієвий - утворюється при наявності карбонатних порід або жорстких вод, які насичені іонами CO_3^{2-} . На бар'єрі зупиняється міграція Ca, Fe, Ba, Sr. Сульфатний - характерний для вод, які збагачені сульфатними іонами. Тут концентрується Ba, Ca, Sr.

Випарний - характерний для верхніх горизонтів ґрунтів, порід (аридних ландшафтів). Вода з розчинними сполуками рухається вгору, випаровується, а елементи випадають у вигляді хлоридних, сульфатних і карбонатних солей. Цей бар'єр припиняє міграцію всіх розчинних у воді речовин.

Сорбційний - проявляється в тих ландшафтах, в яких багато колоїдних частинок (гумусу, глини). Він може осаджувати практично всі елементи, які зустрічаються в розчині в іонній формі

Таблиця 12

Основні геохімічні властивості природних вод
(зведена таблиця)

Класифікація вод за ступенем мінералізації, г/л (за Овчинниковим)			Оцінка вод за граничною нормою мінералізації, г/л (за Альокінім, 1970)	
Ультранизкі (вміст солей понижений осмотичний тиск)	До 0,2		Хороша	До 1,0
Прісні (найкращі)	0,2-1,0		Задовільна	1,0-2,0
Солонуваті (водопостач., пиття)	1,0-3,0		Допустима (для пиття)	2,0-2,5
Солоні (піють лише верблюди)	3,0-35,0		Гранична	2,5-3,0
Розсоли	Більш 35,0			

Продовження таблиці 12

Категорії вод за величиною загальної жорсткості, мг-екв/л		Лужно-кислотні умови природних вод (рН)	
Дуже м'які	< 1,5	Сильно кислі	3-4
М'які	1,5-3,0	Кислі	4-5
Гомірно жорсткі	3,0-6,0	Слабокислі	5-6,5
Жорсткі	6,0-9,0	Нейтральні	7
Дуже жорсткі	> 9,0	Слаболужні	7,5-8,5
Гранична норма до 7-9 мг-екв/л		Сильнолужні	> 8,5
Гранична норма - 6,5-7,5			
Класифікація вод			
№ п/п	Клас (за переважачим аніоном)	Група (за переважачим катіоном)	Тип (за провідним катіоном і аніоном), приклади
1	Гідрокарбонатні (HCO_3^-)	Кальцієві (Ca^{2+})	Гідрокарбонатно-кальцієві
2	Сульфатні (SO_4^{2-})	Магнієві (Mg^{2+})	Сульфатно-кальцієві
3	Хлоридні (Cl)	Натрієві (Na^+)	Гідрокарбонатно-магнієві

РОЗДІЛ 5: БІОГЕННА МІГРАЦІЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Основні питання:

- 1 Біологічний кругообіг (бік). Кількісні характеристики (параметри) біку.
- 2 Утворення живої речовини, геохімія фотосинтезу.
- 3 Інтенсивність біологічного поглинання (БП). Ряди БП.
- 4 Хімічний склад окремих організмів; організми-концентратори. Дефіцитні та надлишкові елементи.
- 5 Розклад органічної речовини.
- 6 Біогенне мінералоутворення. Біогенна акумуляція хімічних елементів у ґрунті.
- 7 Розклад органічних речовин і формування хімічного складу вод.
- 8 Сучасні уявлення про біосферу.

Література: 1) Перельман А.И. Геохимия ландшафта.- М.: Высш. шк., 1975.-С. 24-34, 36-58; 2) Чертко П.К. Геохимия ландшафта.-Минск: Из-во БГУ. 1981.- С.59-88.

1. *Біологічний кругообіг* – це два протилежних і взаємозв'язаних процеси: утворення живої речовини (з елементів навколишнього середовища) і руйнування органічних речовин (у результаті якого елементи переходять із органічних сполук у мінеральні). У цих процесах синтезуються нові мінеральні й органічні сполуки.

Біогенна міграція – це розподіл хімічних елементів у ландшафті за участю живих організмів. Геохімія розглядає не окремих живих організмів, а всю їх сукупність, яку В.І. Вернадський назвав живою речовиною.

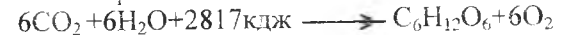
Кількісні характеристики біологічного кругообігу. Серед кількісних показників міграції хімічних елементів за участю рослинності розрізняють такі параметри: сміність, швидкість та інтенсивність біологічного кругообігу. Сміність біку визначається кількістю біомаси (Б), її структурою, кількістю, яка бере участь у кругообігу елементів за рік. Біомаса (фітотомаса) являє собою загальну вагу рослинних організмів на одиницю площі, зі зростанням біомаси зростає сміність біку. В ландшафтах з гумідним кліматом вона вище десятка тонн на 1 га, а в аридному – зменшується. Порушується дана закономірність в зональних типах ландшафту.

Структуру біомаси визначають її частини (зелена частина, багатолітня наземна частина, коріння) і співвідношення окремих частин. Даний показник необхідний для визначення динаміки міграції елементів, особливостей їх акумуляції по органах, а також повернення з опадом у ґрунт. Співвідношення наземних і підземних частин у різних зонах неоднакові: в тундрі складає 1 : 6, в тайзі – 1 : 4, в лучних степах – 1 : 9, на солонці – 1 : 20.

Швидкість біологічного кругообігу характеризує такий показник, як річна продукція (П). Це приріст і опад (вага на одиницю площі). Приріст поділяється таким чином: малопродуктивний (до 25-60 ц/га), середньопродуктивний (61-150 ц/га), високопродуктивний (150-500), дуже високопродуктивний (більше 500 ц/га). Як правило, приріст перевищує опад. Виняток складають степові ландшафти, де вага приросту (П) наближається до загальної маси (Б).

Важливо визначити співвідношення між річною продукцією і біомасою – коефіцієнт “Ж”, який дорівнює (Перельман, 1975. с.30).

2. Утворення живої речовини в ландшафті пов'язане, в основному, з фотосинтезом, у процесі якого рослини поглинають із навколишнього середовища CO_2 і воду, утворюють органічні сполуки, які характеризуються великим запасом внутрішньої енергії.



Фотосинтез є окисно-відновною реакцією. Спочатку розкладається вода, потім водень використовується на відновлення вуглекислого газу і бере участь в утворенні органічної речовини¹.

Але організми складаються не тільки з С, Н, О, але і з N, P, K, Ca та інших елементів, які одержують із субстрату. В результаті фотосинтезу відбувається біогенна акумуляція мінеральних сполук, що має важливе геохімічне значення. Рослини переводять прості мінеральні сполуки (які є в ґрунті, воді) в складні органічні сполуки, переводять їх у менш рухомий стан.

У період росту в рослин іде процес утворення органічних кислот (лимонна, яблучна, щавлева) і білків, у період дозрівання – цукрози та крохмалю.

Процес фотосинтезу протікає в єдності з роботою кореневої системи постачає листкові воду й елементи живлення. Одночасно з живленням проходить виділення в ґрунт кореневою системою різноманітних продуктів метаболізму, серед яких важливу геохімічну функцію виконують органічні кислоти. У результаті їх дисоціації звільняються іони водню, які підкислюють ґрунт і тим прискорюють розчинення мінералів. Звільнюються хімічні елементи, необхідні для живлення рослин. Катіони й аніони, які надходять у рослини через кореневу систему, входять до складу органічних і мінеральних сполук (в органах і тканинах), виконують різну фізіологічну функцію. Надлишок деяких сполук легко виводиться з організму.

3. Інтенсивність біологічного поглинання. Закономірності поглинання й акумуляції хімічних елементів рос-

¹ Крім фотосинтезу, є й хемосинтез. Це коли енергія для процесів береться за рахунок різноманітних хімічних реакцій. Хемосинтез відкрив Віноградський для деяких груп мікроорганізмів та ін. Роль хемосинтезу дуже незначна.

линними угрупованнями вивчаються за допомогою коефіцієнта біологічного поглинання – A_x (КБ)².

Формула розрахунку:

$$A_x = \frac{L_x}{n_x},$$

де L_x – вміст елементу в золі рослин; n_x – в гірській породі або ґрунті, на яких росте дана рослина (кларк літосфери).

О.І. Перельман, користуючись геохімічними даними, обчислив середній склад золи живої речовини, визначив середній A_x і склав ряди біологічного поглинання. При $A_x \geq 1$ – елементи накопичуються в рослинах, а при $A_x \leq 1$ – тільки захоплюються. В залежності від A_x всі елементи можна поділити на 4 групи і 2 ряди (табл. 13): енергійного – n (10-100) і сильного – n (1-10) накопичення, середнього – n (0,1-1), слабого й дуже слабого – n (0,001-0,1) захоплення.

Використовуються й інші коефіцієнти біогенної міграції (О.Л. Ковалевський та ін.): РГК – рослинно-ґрунтовий коефіцієнт – те ж, що й A_x ; РВК – рослинно-водний кореневий коефіцієнт (відношення вмісту елементу в золі рослин до вмісту його у водному розчині), та ін.

Розраховані коефіцієнти досліджуваних елементів для складання ряду біологічного поглинання можна записати так:

$$\frac{Na, K, Fe, Al}{4.1, 1.2, 0.1, 0.04}$$

У даному випадку виділяється група елементів накопичення (Na, K) і захоплення (Fe, Al). Чим менше значення A_x , тим менше рослина потребує даного елемента. Отже, A_x може допомогти в знаходженні оптимального вмісту поживних речовин, але неправильне тлумачення A_x може призвести до помилкових висновків.

4. Хімічний склад окремих організмів сильно відрізняється від середнього вмісту живої речовини (рис.3). Це залежить від систематичного положення даного організму і від властивостей ландшафту. Так, для хвоща характерне

Ряди біологічного поглинання елементів
(за О.І. Перельманом)

		Коефіцієнти біологічного поглинання			
		100 – n	10 – n	n – 0, n	0,0n 0,00n
Елементи біологічного накопичення	Енергійного	P, S, Cl	Br, I		
	Сильного			Ca, Na, K, Mo, Sr, Zn, B, Se	
Елементи біологічного захоплення	Середнього				Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ca, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra
	Слабкого та дуже слабого				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Pb, V, Cr, Li, Nb, Th, Sc, Be, Cs, V, U, W, Sb, Cd

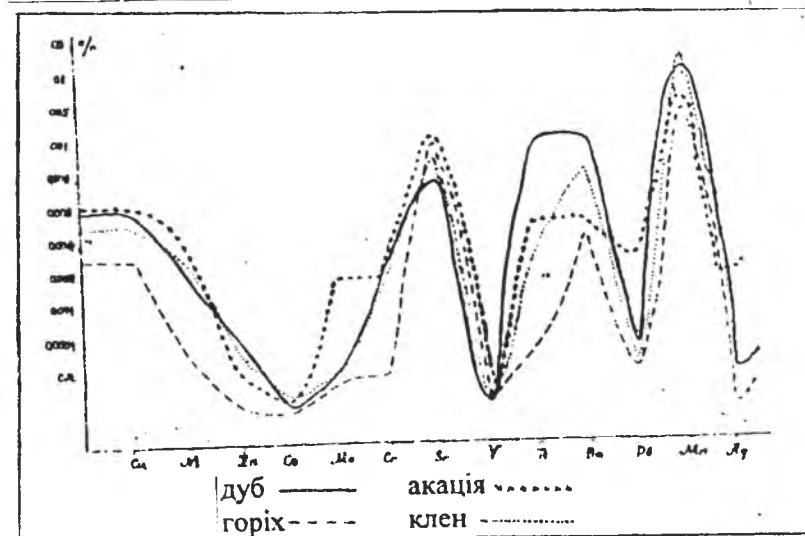


Рис. 3. Вміст мікроелементів в золі деревних порід (лісостепове Придністров'я)

² Для вивчення даного процесу визначається вміст елемента не в організмі в цілому, а в його золі (попіл).

інтенсивне поглинання кремнію ($A_x = 10$); для грибів – фосфору ($A_x = 206$). Зола злаків багата SiO_2 , бобових – Ca, картоплі й соняшнику – K, коношина містить 0,01% натрію. Оскільки злакові споживають багато кремнію, бобові – кальцію, картопля – калію і т. д. – необхідні сівозміни. Згідно з дослідженням О.Л. Ковалевського, в Сибіру зола гілок берези, модрини, сосни містить однакову кількість магнію і кальцію. Відомі рослини, в золі яких підвищений вміст мікроелементів Zn, Se, Ni, Mg, ін. Дослідження М.А. Глазовської на Уралі показали, що лишайники енергійно поглинають Ba, Sr, Pb, Cu, Zn ($A_x = n \cdot 10 - n \cdot 100$).

Хімічний склад рослин часто зумовлений наявністю рухомих форм елементів у ландшафті. Наприклад, підвищений вміст Fe у золі мохів, які ростуть на болотах, пов'язаний з тим, що тут інтенсивна міграція заліза. Високий вміст хлору і натрію в золі лободових зумовлений тим, що вони ростуть на солончаках.

Організми - концентратори – ті, які концентрують певні елементи (вони часто є індикаторами родовищ корисних копалин). Так, виявлено, що ковила на хромовому родовищі містить 0,2% хрому (в золі), а за межами родовища – значно менше.

Неоднаковий хімічний склад і різних частин організмів, і змінюється він за сезонами року. Так, найбільший вміст металів спостерігається у листі й тонких гілках, менший – у корі і мінімальний – у деревині. Відомо, що в організмах тварин йод концентрується в щитовидних залозах, кальцій – у скелеті, фосфор – у скелеті й мозкових тканинах, кобальт – у печінці.

Малюга Д.П. установив, що від весни до осені вміст Co, Ni, Cu, Si, Fe, Ca в листі дерев збільшується в 2-3 рази. Навпаки, зменшення від весни до осені спостерігається для K і P (у золі трав). Подібна закономірність не є універсальною, вона існує лише для окремих видів. Крім того, найбільша сезонна мінливість характерна для молодих органів (листя) і найменша – для старих (стовбур, велике коріння). Із віком хімічний склад організмів змінюється, збільшується зольність та ін. Змінюється склад також зі зміною умов росту. Для організмів-концентрантів існує "біологічна межа" концентрації елементів, накопичення не безмежне.

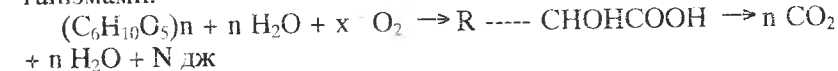
Отже, хімічний склад організмів залежить від їх природи та геохімічних особливостей ландшафту. Живі речовини є геохімічним бар'єром, на якому концентруються повітряні мігранти (C, O, H, N) й інші хімічні елементи.

Дефіцитні та надлишкові елементи. Дефіцитними називають такі елементи, збільшення яких у ландшафті прискорює біологічний кругообіг, підвищує його ємність. У різних ландшафтах до них належать: O, N, P, K, Ca, Mg, Cu, Co, I, F, Mo, Mn та ін.

Надлишковими називаються такі елементи, вилучення із ландшафту яких прискорює його бік, підвищує продуктивність (Cl, S, Na, Cu, Ni, Fe, F, ін.).

5. Розклад органічної речовини в ландшафті – це процес переходу хімічних елементів із органічних сполук у мінеральні з виділенням енергії¹. Утворені мінеральні сполуки надходять у педосферу, гідросферу, атмосферу. В організмах тварин органічні речовини окислюються з виділенням CO_2 і H_2O . Але цього замало. У природі значну роль при розкладанні залишків рослин і тварин у ландшафті відіграють мікроорганізми (інакше не вистачало би CO_2 у природі для фотосинтезу). Особливо багато мікроорганізмів у ґрунтах і намулі.

Наведемо схематичну реакцію розкладу клітковини мікроорганізмами:



Як бачимо, спочатку окислюється клітковина до оксікислот ($\text{R} - \text{C}_n\text{H}_n\text{O}_n\text{COOH}$), а потім до CO_2 і H_2O . Енергія, яка виділяється при цьому, використовується для життєвих процесів. При відсутності O_2 (в середовищі) відбувається розклад клітковини з виділенням метану.

Розклад жирів проходить (також під впливом мікроорганізмів) із виділенням жирних кислот, а потім останні окислюються до CO_2 і H_2O . Білки розкладаються на аміак (у подальшому окислюється до азотної кислоти), воду, CO_2 , кисневі сполуки сірки та фосфору.

У цілому в результаті розкладу органічних речовин у ландшафті утворюються: більш прості органічні сполуки (гумус, органічні кислоти в ґрунті, мул та ін.); CO_2 і H_2O ; катіони й аніони (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} та ін.) за рахунок їх звільнення з органічних сполук. Останні знову частково поглинаються організмами, входять до складу природних вод, у колоїдах, або коли спо-

¹ Цей же процес проходить і в самих рослинах, але в малій кількості, його перевищує синтез.

лучаються між собою, утворюють знову різноманітні мінеральні сполуки (CaCO_3 , Na_2SO_4 , CO_2 , H_2O та ін.) Такий процес носить назву мінералізації органічних речовин.

6. Біогенне мінералоутворення – це утворення мінералів у результаті біологічних процесів (біоліти). Воно проходить, з одного боку, безпосередньо в тканинах живих організмів і, з іншого – після їх відмирання при розкладі органічних залишків.

У процесі метаболізму в тілах рослин і тварин утворюються мінерали, які входять до складу тканини, скелета (наприклад, карбонат кальцію та ін.). Мінерали утворюються в живих організмах також у результаті порушення обміну речовини при надлишковому надходженні окремих елементів. Наприклад, у нирках людини і тварин утворюються “каміння” – мінерали. У ландшафтах вологих тропіків надлишок кремнію приводить до утворення в рослинах кремнієвого мінералу опалу, при розкладі цієї рослини мінерал перетворюється на земляний порошок.

Б.Б. Полинов припускав, що біогенне походження характерне для такого глинистого мінералу, як монтморилоніт, який утворився шляхом синтезу із продуктів мінералізації відмерлих рослин.

Біогенна акумуляція хімічних елементів у ґрунті. Поглинання хімічних елементів рослинами здійснюється зі всієї маси ґрунту. Після мінералізації залишків рослин у верхньому горизонті ґрунту акумулюються ті елементи, коефіцієнт біологічного поглинання яких перевищує одиницю. Чим більше A_x , тим більше і біогенна акумуляція їх у верхніх горизонтах ґрунту. Найбільший A_x характерний для P і S, він складає $n \approx 100$. Біогенним шляхом накопичуються також Ca, K, Mn і мікроелементи (Cu, Ni, Co, Mo, Zn та ін.).

Біогенна акумуляція перешкоджає вимиванню хімічних елементів. Це механізм від’ємного зворотного біокосного зв’язку, який спричинює стабілізацію ґрунтів.

7. Розклад органічних сполук і формування хімічного складу вод. Газовий та іонний склад вод ландшафту в більшості зобов’язаний діяльності організмів (утворення CO_2 , O_2 і т. д.). Частина хімічних елементів надходить у воду за рахунок розкладу залишків організмів (сірка, фосфор, азот). У процесі розкладу органічних речовин виділяється енергія, що створює можливість для водної міграції. Коріння

рослин виділяє іони H^+ і HCO_3^- , які обмінюються на катіони й аніони ґрунту і значна частина яких потрапляє в ґрунтові води. Більш високий вміст у водах кальцію пояснюється більш інтенсивним поглинанням його живою речовиною і більшою кількістю, яка надходить при мінералізації рослинних залишків.

Хімічний склад вод залежить від розчинності сполук, які виникають при мінералізації рослинних організмів. Наприклад, кремній має порівняно низьку розчинність, тому-го його надходження у води невелике, хоча в золі рослин міститься багато.

У ландшафтах з потужним накопиченням органічної речовини (тайга, болото) провідне значення у формуванні хімічного складу вод має процес розкладу цих речовин, він мало залежить від водовмісних порід.

8. Сучасне уявлення про біосферу. Біосфера – загальнопланетарна система живої речовини (живих організмів) і неживої природи, яка охоплює нижню частину атмосфери, гідросферу і частину літосфери. Більш конкретно, вона охоплює тропосферу, майже всю гідросферу (і Світовий океан) і значну частину літосфери (на глибині декілька кілометрів – до шарів з температурою, яка обмежує діяльність бактерій). До біосфери належить жива, біогенна (відмерлі організми) та біокосна (продукти взаємодії живих організмів і неживої природи) речовина. Живі організми і середовище їх проживання зв’язані і взаємодіють один з одним, утворюючи цілісну динамічну систему. (Ландшафти – це клітинки біосфери).

Основоположником вчення про біосферу є В.І. Вернадський (хоча сам термін запроваджений Е. Зюсом). Він указував, що міграція хімічних елементів на земній поверхні (і в біосфері в цілому) здійснюється або за безпосередньої участі організмів (біогенна міграція), або в середовищі, геохімічні особливості якого (O_2 , CO_2 , H_2 і та ін.) переважно спричинені живою речовиною (як у даний час, так і в минулих геологічних епохах).

Одна з найважливіших особливостей біосфери – енергійна міграція атомів. Через живі організми незліченну кількість разів пройшли атоми майже всіх хімічних елементів. Поглинаючись живим організмом, вони стають акумуляторами сонячної енергії, а залишаючи його, віддають цю енергію навколишньому середовищу, виконуючи хімічну роботу.

Жива речовина бере участь у створенні умов міграції атомів: утворює вільний кисень (окисну обстановку), служить джерелом

сірководню при гнитті, який є атмосферною сполукою відновної обстановки та ін.

Геохімічна єдність біосфери полягає в процесі утворення живої речовини та розкладу органічної речовини. Біосфера в цілому, як і ландшафт, багата на вільну енергію, яка перешкоджає встановленню рівноваги. Сучасні концепції біосфери: біохімічна, біогеохімічна, термодинамічна, геофізична, кібернетична, соціально-економічна. Функції біосфери – в розвитку природи Землі та підтримки в ній динамічної рівноваги: окиснення, газообмін, концентрація розсіяних у геосферах елементів, синтез і розклад органічних речовин.

РОЗДІЛ 6: ТЕХНОГЕННА МІГРАЦІЯ

Основні питання:

- 1 Техногенез. Зміна ландшафтів біосфери під впливом техногенезу. Геохімічні особливості ноосфери.
- 2 Техногенез і атмосфера.
- 3 Техногенез і гідросфера.
- 4 Техногенез і педосфера.
- 5 Техногенез і живі організми.
- 6 Техногенні геохімічні аномалії.
- 7 Біогеохімічні ендемії й техногенні аномалії.
- 8 Культурний ландшафт (з геохімічних позицій).
- 9 Коефіцієнти техногенної міграції.
- 10 Методи дослідження техногенних ландшафтів.

Література: 1) Перельман А.И. Геохимия ландшафта.- Высш. шк., 1975.- С.90-106. 2) Чертко Н.К. Геохимия ландшафта.- Минск. 1981.- С. 94-110. 3) Гуцуляк В.М. Геохімічні особливості ландшафтів м. Чернівці // Фізична географія і геоморфологія. Вип. 37.- Київ: Либідь. 1990.- С. 63-70. 4) Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем // Сб. у ред. М.А. Глазовской.- М., 1981.

1. Техногенна міграція (техногенез) – це процес переміщення, концентрації та розсіювання атомів під впливом діяльності людини. Це найбільш складний вид міграції, який підкоряється і соціальним законам. Вона зв'язана з антропогенними ландшафтами.

У результаті техногенезу вигляд ландшафтів (біосфери) сильно змінився, виникли нові складні техногенні системи. Біо-

сфера Землі перетворилась на ноосферу – сферу розуму (антропосферу, техносферу, соціосферу і т. д.)¹.

Ноосфера – це частина планети, яка охоплена техногенезом (тобто геохімічною діяльністю людства). У ній людина вперше стає великою геологічною силою. За масштабом багатьох процесів техногенезу значно перевищують природні. Так, щорічно з надр добувається набагато більше металів, ніж виноситься з річковим стоком (Pb – майже в 70 разів, Cr – в 35, Cu – в 30, Fe, Mn – в 10 і т. д.). У ноосфері має місце грандіозне переміщення атомів, їх розсіювання та концентрація (особливо видобутих корисних копалин). Ноосфері властиві всі основні види міграції, але головною роль відіграє техногенна, інтенсивність якої весь час збільшується. Тому першою ознакою відмінності ноосфери від біосфери є велике прискорення міграції (постає проблема забруднення навколишнього середовища). У ноосфері відбувається розвиток техногенних систем зі швидкістю, невідомою біосфері. Для неї характерні більший динамізм, вона багатша на вільну енергію та інформацію. В.І. Вернадський писав, що ноосфера – це нове геологічне явище на нашій планеті. За рівнем організації техногенні системи мають таку ієрархію: ноосфера ---- культурний ландшафт (ієрархія нижніх рівнів ще не розроблена).

У техногенних системах ноосфери (в тому числі - культурному ландшафті) виникли нові види зв'язків – соціальні (між суспільними групами людей) і природно-соціальні (поряд з водними, повітряними, біотичними та біокосними зв'язками). Утворення техногенних систем супроводжується різким ростом інформації. У геохімічному відношенні культурний ландшафт, наприклад, різноманітніший від природного.

У ноосфері протікає біологічний кругообіг речовин (бік). Тому-то й для ноосфери можуть бути встановлені ряди міграції й типоморфні елементи, Кб і ряди поглинання. Використовуються для ноосфери і такі поняття, як біомаса, щорічна продукція, надлишкові та дефіцитні елементи.

Прагнучи оптимізувати ландшафти, людство посилює утворення живої речовини, намагається одержувати більші врожаї. Але це підсилює і розпад органічних речовин та їх вилучення. Отже, в ноосфері проходить інтенсифікація біка. Так, в сільсь-

¹ Ноосфера – частина біосфери (за О.І. Перельманом), правда, тепер вона вийшла за межі біосфери (глибокі шахти).

кому господарстві, крім основних чотирьох елементів (N, P, Ca, K), стали застосовуватися мікробрива (B, Cu, Mo, Mn, Zn, Fe та ін.). А в тваринництві частину потреб у білках поповнюють за рахунок синтетичного продукту – карбаміду (сечовини) та ін.

До техногенезу залучається все більше хімічних елементів (людина використовує всі хімічні елементи таблиці Менделєєва). Крім того, в ноосфері виникли процеси техногенної міграції, які непричетні до біосфери. Людство проводить синтез органічних сполук і виготовляє хімічні речовини, які ніколи раніше не існували в біосфері (штучні полімери, пластмаси, барвники і т. ін.)¹. Збільшуються масштаби щорічного видобутку корисних копалин (вугілля, нафти, заліза та ін.). Для вираження відношення щорічного видобутку хімічного елементу (в тонах) до його кларка Перельман запропонував поняття "технофільність" елементів (коефіцієнт техногенної міграції). М.А. Глазовська зазначає, що для культурних ландшафтів характерно "озалізнєння", зростання відносної ролі міді (в порівнянні з цинком), нікелю (відносно кобальту) і т. д.

Один із результатів техногенезу – забруднення біосфери. Ріст промисловості органічного синтезу збільшує небезпеку забруднення ландшафтів токсичними елементами. Відомо більш 500 канцерогенних сполук: поліциклічні та гетероциклічні ароматичні аміни, амінокислоти, нітрозаміни, гепатоксичні отрути, похідні металів берилію, хрому, заліза, свинцю, нікелю (М.О. Ходосова, 1976).

У сільському господарстві широко застосовуються пестициди, які стійкі в ґрунті тривалий час (до двох і більше років). Вони небезпечні, оскільки, потрапляючи у трофічний ланцюг рослини-тварини-людини, викликають органічні захворювання (частково пестициди знешкоджуються в результаті мікробіологічного розпаду в ґрунті й живих організмах). Отруйними, наприклад, є також хлоровані нафталіни дефініли.

Усі вказані вище сполуки (як і інші) прискорюють розвиток техногенної міграції. На сучасному етапі техногенна міграція зачепила всі компоненти ландшафту: атмосферу, педосферу і кору вивітряння, живі організми (рис. 4).

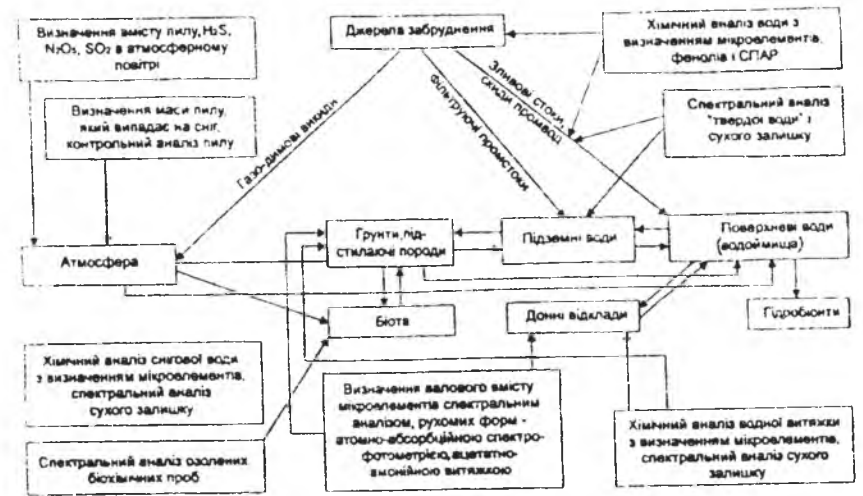


Рис.4. Схема основних шляхів міграції забруднюючих речовин і аналітичної бази геохімічних спостережень

2. Техногенез і атмосфера. Атмосфера забруднюється шкідливими газами і аерозолями техногенного походження (CO , SO_2 , Cl , NO , NO_2 , канцерогенні вуглеводи і мінеральні компоненти летучої золи)¹. Це пов'язано зі споживанням палива, інтенсивністю руху автотранспорту, технологічними процесами (викидами) на виробництві, погодними умовами.

Автотранспорт виділяє CO , вуглеводні, Pb, ін. Теплові електростанції – золу, сірчистий газ. При неповному згоранні пального у навколишнє середовище надходять токсичні речовини, пил, сажа, оксид сірки, CO_2 , NO .

Атмосфера здатна до самоочищення (повітряні потоки, опади), але в повітрі завжди присутні токсичні речовини. Вони викликають гострі катаральні процеси (ларингіт, трахеїт, бронхіт), розлад нервової системи, подразнення слизової оболонки очей, шкіряного покриву.

Встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) речовин в атмосфері для нормального розвитку живих організмів.

¹ Пластмаси не гниють, створюють проблеми утилізації сміття

¹ Концентрація CO_2 в атмосфері зростає з 0,029 до 0,033% (Будико). Але, якщо повністю виключити техногенну діяльність, відновлення CO_2 за рахунок фотосинтезу відбувається через 4 години

3. Техногенез і гідросфера. Скиди і викиди промислових, комунально-побутових і агропромислових підприємств сильно змінюють хімічні, фізичні й органолептичні властивості поверхневих і ґрунтових вод. Концентрації хімічних речовин у стічних водах часто стають токсичними (важкі метали та ін.) Відходи тваринництва можуть підвищити концентрацію нітратів у воді до 300 мг/л (при допустимій нормі 45 мг/л). Серед виробничих викидів особливо небезпечними забруднювачами природних вод є радіоактивні речовини і детергенти (синтетичні речовини з високою поверхневою активністю і бактеріцидною дією), вони не зазнають процесу самоочищення.

Методи штучного очищення промислових стоків: механічний (відстоювання), механіко-хімічний (коагуляція, відстоювання), фізико-хімічний (електростатичний, іонний обмін, сорбція), біологічний (очищення мікроорганізмами). При біологічній обробці може бути досягнуте повне очищення вод.

ГДК хімічних елементів у воді для більшості речовин встановлені. У питній воді допускаються такі нормативи: загальна жорсткість – до 9 мг-екв/л, вміст хлоридів – до 350 мг/л, нітратів (по азоту) – до 10, нітригів – до 0,002, аміаку – до 0,1 мг/л, загальна мінералізація – до 1 г/л, окислюваність – до 4 мг/л O_2 . Забарвлення до 40 за шкалою, запах і присмак – до 3 балів, мікробне число – до 300–400 в 1 мл.

4. Техногенез і педосфера. У ґрунт шляхом внесення мінеральних добрив надходять азот, фосфор, калій, вносяться біоциди (пестициди)¹. Усі вони мігрують через питну воду в організм людини. Надлишок нітратного азоту викликає менгемоглобінемію у дітей грудного віку. Надлишок фосфорних добрив приводить до підвищення концентрації в середовищі (а значить, і в продуктах харчування) фтору, який порушує фосфорно-кальцієвий обмін, викликає захворювання печінки і нирок, флюороз зубів. З калійними добривами в ґрунт надходить хлор, який викликає часткове засолення і погіршення якості рослинницької продукції. Калій мігрує в ґрунті повільно і не впливає на нього особливо шкідливою дією (Чертко, 1981).

Забруднювачами (випадковими) ґрунту є і речовини, які поступають з господарсько-побутовими і промисловими стічними

водами, з твердими відходами, аерозолями і газами. Із твердих відходів вимиваються і надходять в ґрунт токсичні метали й органічні сполуки (свинець, ртуть, нікель, цинк, сірковуглець, кислоти, хлорорганічні сполуки). А з промисловими аерозолями і газами надходять бластомогенні речовини (канцерогенні: бензапирен 3,4; бензфлуорантен та ін.). Вказані токсичні речовини нагромаджуються в органах рослин, особливо тих, які вирощуються поблизу промислових підприємств і автомагістралей.

Самоочищення ґрунтів здійснюється шляхом вимивання, окислення, сорбцій, випаровування, гідролізу, поглинанням рослинами, участі мікроорганізмів в розкладі сполук та ін.

Все це залежить від умов середовища (тип ґрунту, вологість, температура, будова). Порівнюючи з атмосферою і водами, самоочищення ґрунту від шкідливих речовин проходить значно повільніше (рис. 5;6).

ГДК для ґрунту поки що остаточно не встановлені. Його санітарно-епідеміологічна оцінка дається шляхом контролю за життєдіяльністю бактерій.

5. Техногенез і живі організми. Техногенні хімічні речовини надходять із ґрунту, води, повітря в живий організм в токсичній дозі і передаються по тофічному ланцюгу. Частина з них акумулюється в генеративних органах, частина входить до складу фізіологічно активних речовин в якості каталізаторів або інгібіторів. У зв'язку з цим самоочищення живих організмів від токсичних речовин утруднене (рис.7).

У даний час розроблені діагностичні методи вивчення надлишку чи нестачі елементів у рослинах: біометричні, морфологічне вивчення, хімічна діагностика (Церлінг, 1978). І самі живі організми часто є індикаторами концентрації хімічних елементів у складових частинах ландшафту.

Гранично допустимі концентрації окремих елементів у живих організмах встановлені.

6. Техногенні геохімічні (антропо-геохімічні) аномалії – це підвищення вмісту елементів у середовищі, яке пов'язане з діяльністю людини. Виділяються техногенні літо-, атмо-, гідро-, педо-, зоохімічні аномалії.

Техногенні аномалії можуть бути викликані, наприклад, надлишковою концентрацією ртуті, свинцю, кадмію, арсену та ін.

¹ Це засіб боротьби з шкідниками сільського господарства. Вони поділяються на інсектициди (засіб боротьби з комахами) і гербіциди (з рослинами)

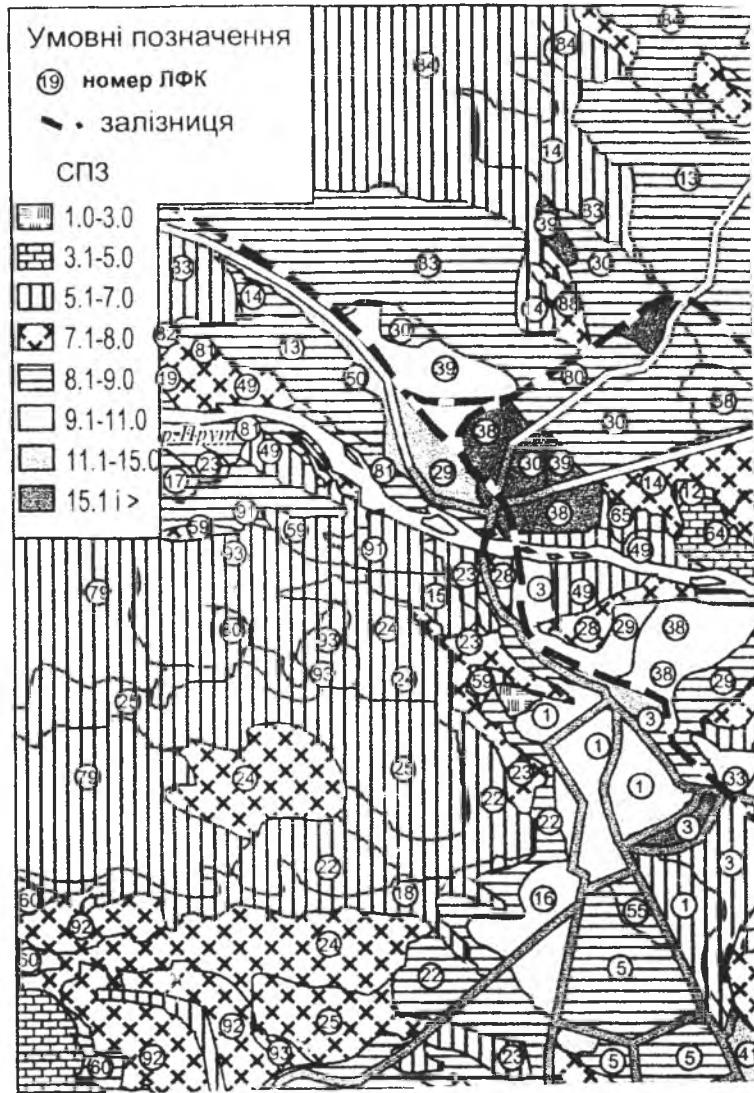


Рис. 5. Сумарний показник забруднення ландшафтів м. Чернівці (фрагмент карти)

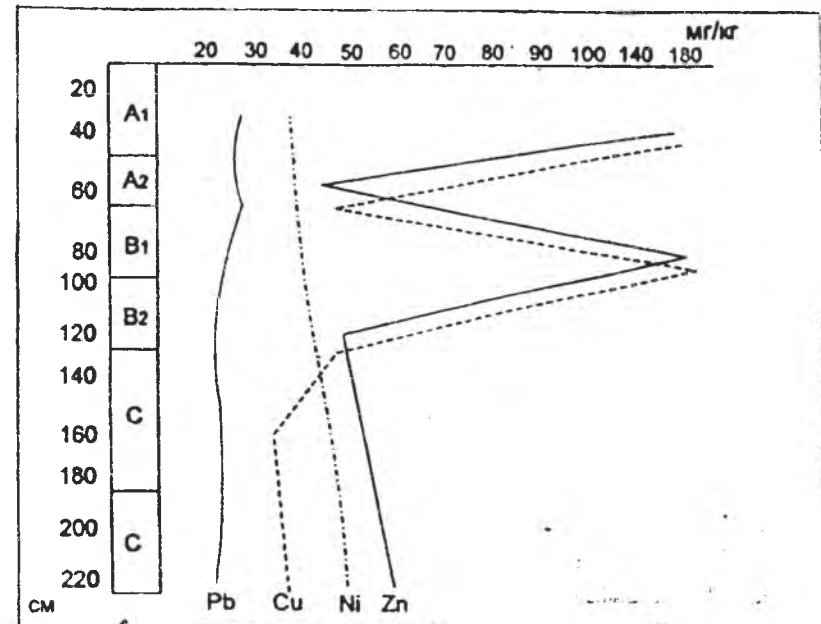


Рис. 6. Вертикальний розподіл мікроелементів у темно-сірому ґрунті (м. Чернівці, техноекотоп 4)

Джерелом надлишку *ртуті* у воді й повітрі можуть бути підприємства хімічної, цементної, паливної, приладобудівної промисловості, кольорової металургії. Його надлишок в організмі людини викликає нервово-психічний розлад (хвороба Мінамата).

Свинець концентрується в ландшафті при спалюванні палива в двигунах усіх видів транспорту, на деяких промислових підприємствах. У середньому ширина зони дії автомобільного свинцю біля 100 м. Найбільша його кількість нагромаджується безпосередньо біля дорожнього полотна і на відстані 20 і 50 м від нього. Надлишок свинцю в рослинах призводить до скручення й опадання листя (навіть у середині вегетаційного періоду). Водночас дерева знешкоджують значну частину сполук свинцю. Ознаки свинцевого отруєння: анемія, головні болі, біль у м'язах. Допустима кількість свинцю в продуктах харчування 0,5 мг/кг. Рекордсменом серед городніх культур за нагромадженням автомобільного свинцю є салат. У ряді країн прийняті закони, які забороняють вирощувати сільськогосподарські культури і випасати худобу в придорожній зоні.

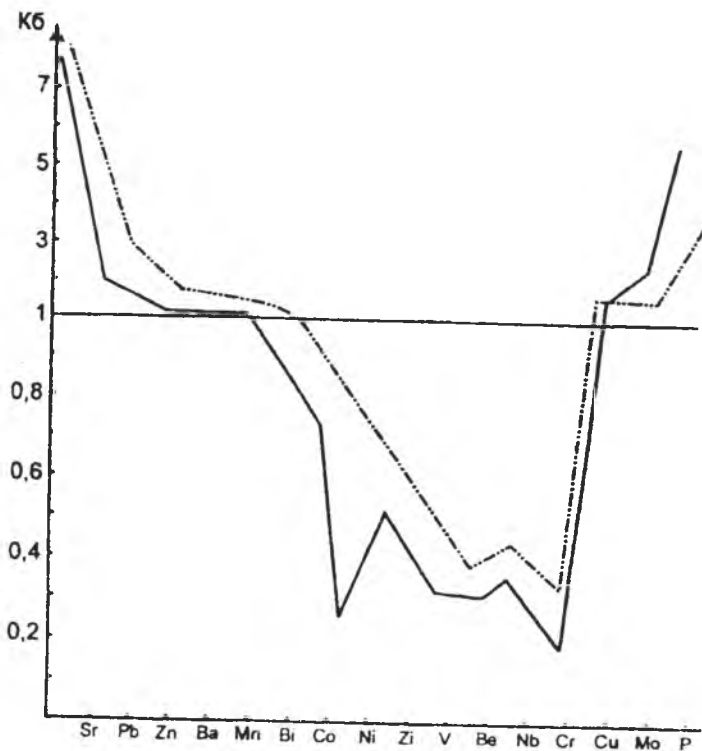


Рис. 7. Біогеохімічна характеристика техногенного ландшафту (м. Чернівці). КБ – коефіцієнт біологічного поглинання.

Надлишок *кадмію* з'являється при внесенні в ґрунт суперфосфатів, фунгіцидів, при спалюванні пластмас, при викурюванні сигарет. В організмі людини викликає підвищення кров'яного тиску, може викликати інсульт, кістки стають крихкими і ламкими (хвороба "ітай-ітай", що означає "боляче-боляче" – в Японії). Кадмій є сильним канцерогеном (викликає всі форми раку). ГДК кадмію у воді не більше 0,01 мг/л.

Мідь. Відомо, що застосування препаратів, які містять мідь, на виноградних плантаціях призводить у ряді випадків до загинування самого винограду, а також інших живих організмів. Людина при отруєнні міддю хворіє на анемію.

Крім указаних, до числа металів-ворогів належать Sr, Ni, Zn, V, Be та ін., вміст яких у середовищі перевищує верхню межу концентрації.

Отже, підприємства є потужними забруднювачами навколишнього середовища, що виражається у виникненні поблизу заводів аномальних важких металів у ґрунтах, водах, рослинах (концентрація значно вища від фону). Люди, які мешкають на територіях, що прилягають до заводів, зазнають дії токсичних елементів, що може призвести до збільшення кількості випадків різноманітних захворювань.

О.І. Перельман (1975) виділяє три типи техногенних аномалій: а) корисні, які поліпшують середовище. Наприклад, вапнування, йодування та ін.; б) шкідливі – концентрації пестицидів у ґрунті, токсичних газів в атмосфері, вміст важких металів у воді й ґрунті та ін.; в) нейтральні – концентрація заліза, алюмінію (дахи), міді в домашніх умовах, на підприємстві.

За масштабами аномалії поділяються на: глобальні (зараження стронцієм в результаті ядерного вибуху, або ДДТ); регіональні – материк, район (збільшення вмісту азоту в результаті внесення мінеральних добрив); локальні (пов'язані з промкомбінатом, рудником, автотрасою та ін.).

7. Біогеохімічні ендемії й техногенні аномалії. Біогеохімічними ендеміями називають природні аномалії (приурочені до біогеохімічних провінцій). Вони можуть бути викликані як надлишком (наприклад, B, Pb, Sr, Cu, F, Mn, Se), так і нестачею (Co, Zn, I, Cu, Fe, Mn, Be) елементів. Так, в урівняній біогеохімічній провінції (Читинська обл., р. Уров) спостерігається надлишок стронцію в ландшафтах, який перешкоджає доступу кальцію в організм тварин і людини (замінює його). Це призводить до викривлення хребта, ламкості кісток та ін.

Техногенні аномалії часто накладаються на природні аномалії (на біохімічні ендемії). На відміну від природних біогеохімічних ендемії, техногенні ендемії є наслідком тільки надлишкової концентрації елементів. Техногенез (вирубка лісів, розорювання цілини, штучне зрошення, внесення добрив, добування і розпилювання корисних копалин, забруднення відходами промислового виробництва та ін.) накладає свій відбиток на формування природних біогеохімічних ендемії.

8. Культурний ландшафт. Поняття культурний ландшафт дискусійне. За О.І. Перельманом, культурний ландшафт поєднує позитивні геохімічні особливості природного ландшафту з оптимальними геохімічними умовами, які створені людиною. Таке поєднання повинно відповідати оптимальним

умовам життя населення. Оптимальному культурному ландшафту повинні відповідати характерні позитивні медико-геохімічні особливості багатьох природних ландшафтів.

З геохімічних позицій культурні ландшафти поділяються на такі види: селітебні, сільськогосподарські (аграрні), штучні (Чертко, 1981). Вони відрізняються за особливостями міграції, концентрації та розсіювання елементів.

До селітебних ландшафтів належать міста й сільські поселення, пункти з комплексом житлових і промислових будівель, зони відпочинку.

Для даного виду ландшафтів характерна концентрація нейтральних шкідливих і корисних хімічних елементів. До заходів по створенню оптимальних геохімічних умов відносяться: створення безвідходного виробництва, утилізація промислових і побутових відходів, створенні системи очисних споруд, збільшення площі зеленої зони.

До сільськогосподарських ландшафтів належать розорані поля, сади, городи, луки, пасовища та ін. Для них характерна міграція як корисних, так і нейтральних елементів. Створення оптимальних геохімічних умов для розвитку рослин включає: внесення органічних і мінеральних добрив, пестицидів, вапнування, гіпсування, а також правильну обробку ґрунтів, осушення або зрошення деяких ділянок і т. д. Усі ці заходи, які пов'язані з окультуренням ландшафтів, потребують постійного контролю.

До штучних ландшафтів належать дорожні магістралі, водосховища, греблі та ін. Вони мають специфічні геохімічні особливості, що потребує подальших досліджень.

9. Коефіцієнти техногенної міграції. Для характеристики міграції елементів у культурному ландшафті О.І. Перельман запропонував коефіцієнт технофільності (Т). Він виражає відношення щорічного видобутку хімічного елемента (Д) до його кларку (К). Його формула: $T = D/K$. Найвища технофільність у вуглеці ($n \cdot 10^{10}$), оскільки вугілля і нафта є головними джерелами енергії¹.

М.А. Глазовська запропонувала ввести поняття "деструкційна активність техногенезу" (Дт). Воно виражає відношення техно-

фільності (Т) до біофільності (Б)¹, тобто $D_t = T/B$. Чим вище Дт, тим небезпечніше концентрація елемента для живої речовини ландшафту. Запропоновано також поняття "модуль техногенного тиску" (Глазовська, 1976). Він вимірюється загальною кількістю речовини (елемента), яка поступає на одиницю площі за одиницю часу. Характеризує стійкість ґрунту до хімічного забруднення та ін.

Іншим геохімічним параметром є техноємність (Москаленко, Смирнова, 1984). Це відношення споживання елемента (наприклад, заводом) до кларку літосфери. Він застосовується при вивченні конкретних джерел забруднення (промідприємства) і показує ступінь відмінності концентрації хімічних елементів у них і в природному середовищі.

Коефіцієнт техногенної фіксації (Кф) (Глазовський, 1975). Його формула: $K_f = C_1/C_2$, де C_1 – кількість добутого елемента за визначений час, C_2 – кількість розсіяного елемента за той же час. При значенні $K_f = 1$ весь елемент, який залучається до техногенної міграції, переходить в природні міграційні потоки. Наприклад, в процесі техногенезу переводиться в природне середовище практично увесь азот і калій ($K_f = 1$), майже половина заліза ($K_f = 2$), яке добувається. Ці дані дозволяють дати характеристику впливу "техногенного процесу" на природу. Коефіцієнт самоочищення ґрунтів: $K_{cg} = M_v/M_g$, де M_v – маса вилученого елемента з ґрунту за розглянутий відрізок часу, M_g – кількість елемента, яка вноситься в ґрунт джерелом забруднення за цей час. (Для цих розрахунків потрібні дані стаціонарних спостережень).

Відносний геохімічний коефіцієнт або коефіцієнт концентрації $K_c = C/C_f$, де C – значення вибраного інгредієнта в зоні техногенної дії, C_f – те ж за зоною дії – на фоні, який вибрано як еталон для порівняння.

Інтегральні геохімічні показники, які дозволяють дати реальну оцінку забруднення. До таких належить сумарний показник забруднення (СІЗ) або розсіювання (СІР) та індекс загального забруднення атмосфери (ІЗЗА). Розрахунок СІЗ базується на обчисленні загального відносного перевищення над фоном для

¹ Оскільки при розрахунках зіставляються характеристики різної розмірності (вага), коефіцієнт виражається в умовних одиницях.

¹ Біофільність – відношення кларку елемента в живій речовині до його кларку в літосфері характеризує кларку концентрації хімічних елементів у живій речовині (Перельман, 1972).

асоціації елементів, які нагромаджуються (включаємо елементи, K_c яких у техногенних аномаліях вище 1). Формула: $СПЗ (Z_c) = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1)$. Сумарний показник розсіювання визначається за

формулою: $СПР (Z_p) = \sum_{i=1}^n C_{\phi} (C - (n-1))$. При розрахунках

СПР враховуються хімічні елементи, коефіцієнт розсіювання яких у зонах забруднення менше 1, тобто їх вміст нижчий від фонових.

Показник участі елемента в асоціації ($M_c\%$) відображає процентну долю участі елемента в асоціації. Використовується для характеристики структури (спектра) геохімічної асоціації (Сорокіна, 1985, з доповненням Гуцуляка). Формула: $M_c\% = K_c (S \cdot 100)$, де K_c – коефіцієнт концентрації елемента (по відношенню до фону), S – сумарний показник (асоціації).

10. Методи дослідження техногенних ландшафтів. У даний час існують чотири головних геохімічних методи пошуку корисних копалин: літогеохімічний, біогеохімічний, гідрогеохімічний, атмогеохімічний. Диференціація цих методів базується на вивченні окремих компонентів біосфери: гірських порід і ґрунтів, природних вод, наземної рослинності і атмосферного повітря. Але ціль усіх методів єдина – оконтурення ореолів розсіювання елементів і простеження шляхів їх міграції.

Вказані методи пошукової геохімії з успіхом використовуються при виділенні техногенних аномалій. Геохімічні дані узагальнюються (формалізуються) у вигляді специфічних геохімічних карт, на яких відображається інформація про вміст хімічних елементів у компонентах ландшафтів (рис.8).

На карті, яка додається, розподіл свинцю в ґрунтах одного із промислових районів, лініями об'єднані точки з однаковим вмістом свинцю. За допомогою ліній можна судити про наявність аномалій або ділянок з ґрунтами, які збіднені свинцем. Ці карти допомагають розробити заходи з ліквідації наслідків забруднення, оптимізувати техногенні ландшафти.

Під час складання ландшафтно-геохімічної карти слід враховувати, перш за все, поділ природних-територіальних комплексів на типи (підтипи), роди і види (останні узгоджуються з таксонами геохімічних ландшафтів). Далі необхідно враховувати також поділ ландшафтних комплексів на вододільні (елювіаль-

ні), схиліві (транселювіальні, транселювіально-аккумулятивні) та долинні (аккумулятивні), (рис.9; 10). Для вершинних (вододільних) ландшафтних урочищ характерне переважання елювіальних і транселювіальних фацій (елементарних геохімічних ландшафтів – ЕГЛ). Баланс речовин і енергії в усіх місцезнаходженнях ЕГЛ (елювіальних, транселювіальних, аккумулятивних) різний.

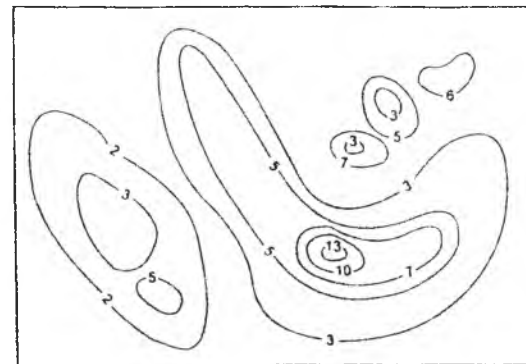


Рис.8. Розподіл техногенного свинцю в ґрунтах міської території (в умовних одиницях фону)

Використання інформації з ландшафтно-геохімічної карти при ландшафтно-геохімічному картографуванні.

За основу складання ландшафтно-геохімічної карти слід брати геохімічну типологію ландшафтів, розроблену М.А. Глазовською (1964). В легенді карти всі ландшафти ділять на 3 групи: елювіальні, супераквальні й аквальні.

Виділення супераквальних ландшафтів доцільно починати з заплавлів річок, днищ балок з тимчасовим водотоком. До них належать контури всіх гідроморфних ґрунтів (болотних, дерново-глеєвих, лучних, солончаків, солонців), а також глеєві, глеюваті, солончаківі, солонцюваті, різновиди інших типів ґрунтів. На карті рослинності – це угруповання сирих, вологих і засолених умов місцезнаходження.

У системі супераквальних ландшафтів виділяють дві групи з різномірним геохімічним обміном: делювіально-алювіальні (заплавна) і неалювіальні (поза заплавою). Для назви останньої вживають термін педакваль (Гуцуляк, 1972).

Використовуючи ландшафтну карту, можна поділити приро-

дні комплекси за окислювально-відновними умовами. Як відомо, супераквальні ландшафти мають відповідні умови. Враховуючи це, на ландшафтно-геохімічних картах можна виділити супераквальні ландшафти з переважанням відновних умов, а всі решта – віднести до ландшафтів з окислювально-відновним режимом.

Ландшафтно-типологічна карта може служити також основою для поділу ландшафтів на промиті, напівпромиті та непромиті. Для промитих характерні лісові ґрунти, опідзолені чорноземи; для напівпромитих – типові і вилугувані чорноземи; непромитих – карбонатні та звичайні чорноземи і засолені різновиди ґрунтів.

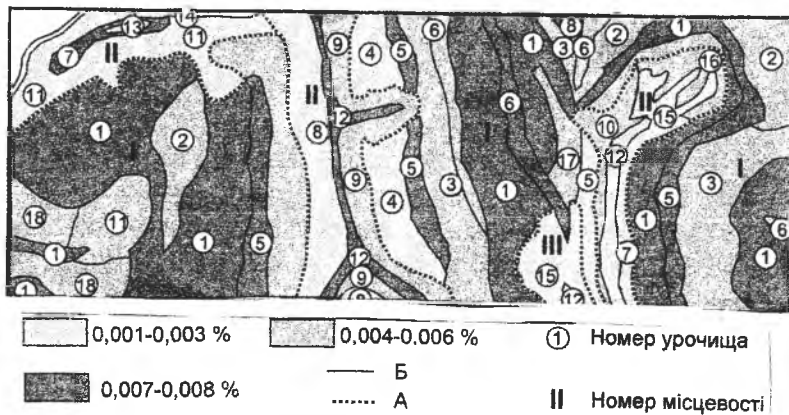


Рис.9. Фрагмент ландшафтно-геохімічної карти району Дністровсько-Прутського межиріччя (штриховкою показано вміст міді в ґрунтах)

ПТК (на карті і профілі). I. Вододільні хвилясті рівнини. 1 – вододіль слабонахилений, складений важкими суглинками з чорноземами вилугуваними слабо змитими; 2 – вододільна поверхня, складена важкими суглинками із звичайними і вилугуваними чорноземами; 3 – нахилений (6-7°) схил, складений важкими суглинками з чорноземом вилугуваним середньозмитим; 4 – пологий схил, складений піщано-супіщаними породами з опідзоленим і вилугуваним чорноземом легкосуглинистим і супіщаним; 5 – випукла вершина вододілу, складена важкими суглинками з вилугуваними і звичайними чорноземами; 6 – балка з пологими схилами, з чорноземом вилугуваним важкосуглинистим.

II. Схилі місцевості долин малих річок. 7 – активізовано-зсувний схил, складений глинисто-суглинистими породами з чорноземом змитим; 8 крутий (15°) старозсувний схил, складений глинисто-сугли-

нистими породами з комплексом змитих чорноземів; 9 – зсувний крутий схил, складений глинами з чорноземом вилугуваним змитим із злаковою трав'янистою рослинністю; 10 – делювіальний середньокрутий (8-9°) схил, складений важкими суглинками з чорноземами вилугуваними середньозмитими; 11 – урочище зсувного типу; 12 – заплавні урочища з лучними ґрунтами, частково засоленими і заболоченими; 13 – яр; 14 – ставок.

III. Місцевість зсувних цирків ("гіртопів"), складених глинисто-суглинистими породами з комплексом змитих чорноземних ґрунтів. 15 – урочище зсувних мікроцирків з еродованими ґрунтами, 16 – вододільні "останці"; 17 – терасовані схили; 18 – зсувні схили; А – межі місцевостей, Б – межі урочищ.

Визначення ступеня небезпечності забруднення ландшафтів хімічними речовинами. З гігієнічних позицій, небезпечність забруднення ландшафтів визначається рівнем можливого негативного впливу на середовища, які контактують (повітря, води, ґрунти, харчові продукти), і безпосереднього впливу на людину. Основним критерієм гігієнічної оцінки небезпечності забруднення є гранично допустимі (нешкідливі для людини) концентрації хімічних речовин в компонентах ландшафту (ГДК). Цей показник оцінюється кількісно. Для оцінки небезпечності рівня забруднення для здоров'я населення використовується коефіцієнт небезпечності елемента (Кн), який визначається відношенням вмісту речовини в природному компоненті до його ГДК.

$$K_n = \frac{C}{ГДК}$$

Для оцінки екологічної ситуації використовується також показник інтенсивності забруднення природного компонента (Pj) та інтегральний показник екологічної безпеки (Ін) в умовних одиницях (Гуцуляк, 1993).

Формула розрахунку:

$$P_j = \sum_{i=1}^n M_i \cdot K_{ci}, \quad I_n = \sum_{j=1}^m P_j \cdot T_j, \text{ де}$$

M_i – значення індексу небезпечності (токсичності) – у відповідності з класом небезпечності (табл. 14); n – кількість хімічних елементів, що враховуються; K_c – коефіцієнт концентрації (С) хімічного елемента (i); T_j – транслокаційний показник шкідливості, виражений в умовних одиницях (для ґрунтів – 2, повітря – 3, ґрунтових вод – 4, біомаси – 5); m – кількість компонентів (j) ландшафту. Показники P_j і I_n вважаються головними в оцінці

еколого-геохімічної ситуації (ЕГС).

Загальну оцінку ЕГС в ландшафтних компонентах у зв'язку із забрудненням здійснюють за п'ятибальною системою і за наступними критеріями: 1 – сприятлива (забруднення відсутні); 2 – відносно сприятлива (забруднення допустиме, вміст речовин перевищує фоновий, але не вище від ГДК у всіх компонентах ландшафту); 3 – відносно несприятлива (забруднення помірно небезпечно, вміст хімічних речовин перевищує ГДК в ґрунтах); 4 – несприятлива (забруднення небезпечно, перевищення ГДК у ґрунтах і повітрі); 5 – дуже несприятлива (забруднення дуже небезпечно, вміст речовин перевищує ГДК у всіх середовищах – ґрунтах, повітрі, воді, біоті).

Зміни показників здоров'я населення в залежності від інтенсивності забруднення ландшафту показані в табл. 15.

Таблиця 14

Класи екологічної небезпеки хімічних речовин, які потрапляють у ґрунт з викидів, скидів і відходів

	Хімічні речовини	Значення і індекс небезпеки
I	As, Cd, Hg, Pb, Se, Zn, F, бензапірен	4,1 і більше (4)
II	V, Co, Ni, Mo, Cr, Sb, Cu	2,6 – 4 (3)
III	Ba, V, W, Mn, Sr, ацетофен	0,1 – 2,5 (2)

Таблиця 15

Оціночна шкала екологічної небезпеки забруднення ландшафтів (за інтенсивним показником забруднення ґрунтів – Р_і)

Категорія інтенсивності забруднення ґрунтів	Величина Р _і	Зміни показників здоров'я населення
Допустима	Менше 15	Найбільший низький рівень захворюваності дітей, мінімальна частота функціональних відхилень
Помірно небезпечна	16 - 30	Збільшення загальної захворюваності населення
Небезпечна	32 - 50	Збільшення загальної захворюваності дітей, часто хронічні захворювання, порушення функціонального стану серцево-судинної системи
Дуже небезпечна	Більше 50	Збільшення загальної захворюваності дітей, порушення репродуктивної функції жінок (збільшення токсикозу вагітності, числа передчасних родів, гіпертрофії новонароджених)

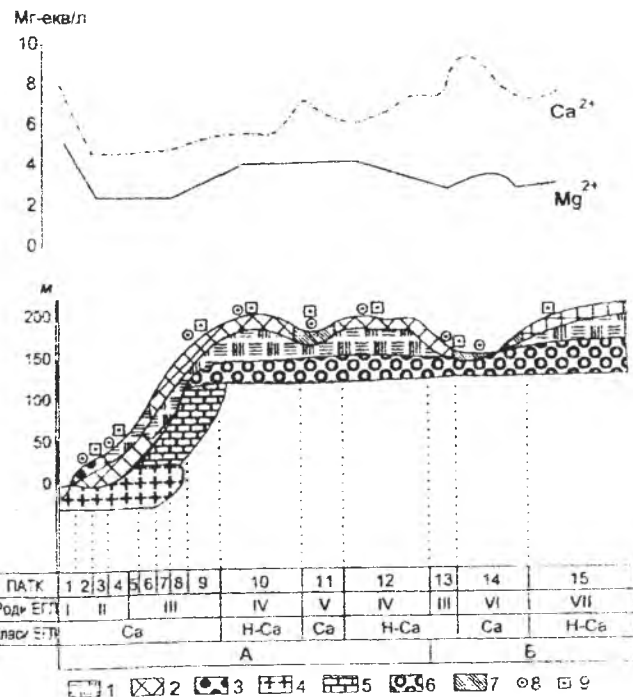


Рис. 10 Ландшафтно-геохімічний профіль долини р. Дністер (околиці с. Кормань). Каскадна (А) і катенарна (Б) системи

ПАТК: 1 – русло р. Дністер; 2 – низька тераса, супіщана, з дерново-карбонатними ґрунтами, слабозадернована; 3 – низька тераса, супіщана, з дерновими окультуреними ґрунтами; 4 – середня тераса, супіщана, з дерновими ґрунтами; 5 – середня тераса, супіщана, з дерновими змитими ґрунтами; 6 – тераса, суглиниста, з дерновими змитими ґрунтами; 7 – схилова тераса, суглиниста, з легкосуглинистими змитими ґрунтами; 8 – висока схилова тераса, суглиниста, з середьосуглинистими змитими ґрунтами; 9 – висока нахилена тераса, суглиниста, з сірими лісовими окультуреними важко суглинистими ґрунтами; 10 – висока тераса, суглиниста, з темно-сірими, важкосуглинистими ґрунтами; 11 – балка (врізана в суглинок), з луговими наносними глинними ґрунтами і луговою рослинністю; 12 – схил високої тераси, складений суглинками з темно-сірими важкосуглинистими змитими ґрунтами; 13 – балка (врізана в карбонатні глини), з лугово-чорноземними карбонатними важко суглинистими ґрунтами; 14 – вододіл, складений суглинками, підстеленими глинами, з сірими окультуреними важкосуглинистими ґрунтами. Роди: I-III – I – аквалітні; II – неоселювальні-аккумулятивні; III – транселювальні; IV – неоселювальні, V – неоселювальні-супераквалітні; VI – елювіально-аккумулятивні; VII – елювіальні. Умовні позначення: 1 – суглинок; 2 – супісок; 3 – алювій супіщано-гальковий; 4 – кристалічні породи і теригенна товща (докембрій); 5 – вапняк і мергель (крейди, неогену); 6 – глина карбонатна; 7 – лучна рослинність; 8 – проби води; 9 – проби ґрунтів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 290 с.
2. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов: Учеб.-метод. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 108 с.
3. Беспамятов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л.: Химик, 1985.
4. Бургеля Н.К., Кирлян Н.Ф. Геохимия и окружающая среда. – Кишинев: Штиинца, 1985. – 106 с.
5. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М., 1965.
6. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. – М., 1980.
7. Вода питьевая. Методы анализа. – М.: Гос. Ком. Стандарт при Совмине СССР, 1974. – 195 с.
8. Гаврилова И.П. Ландшафтно-геохимическое картографирование. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 149 с.
9. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саг, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
10. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. – 203 с.
11. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 328 с.
12. Глазовская М.А., Касимов С.Н. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. // Вест. Моск. ун-та. – 1987, сер. 5, геогр., – №1. – С. 11-17.
13. Горев Л.Н., Пелешенко В.И. Методика гидрохимических исследований. – Киев: Вища шк., 1985. – 218 с.
14. Горев Л.Н., Пелешенко В.И., Кирничный В.В. Методика оптимизации природной среды обитания. – Киев: Лыбидь, 1992. – 528 с.
15. Гуцуляк В.М. Основы ландшафтознания: Навч. посібник, – К.: НМК ВО, 1992. – 60с.
16. Гуцуляк В.М. Ландшафтно-геохімічна екологія. Чернівці: Рута. – 2000. – 248 с.
17. Гуцуляк В.М. Ландшафтна екологія: Геохімічний аспект: Навч. посібник. – Чернівці: Рута, 2002. – 272 с.
18. Гуцуляк В.М., Присакар В.Б. Геохімія: Методичні вказівки. – Чернівці: ЧНУ, 2003. – 32с.
19. Добровольский В.В. Проблемы геохимии в физической географии. – М.: Просвещение, 1984. – 143 с.
20. Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1977. – 184 с.
21. Лукашев К.П., Лукашев В.К. Геохимия ландшафта. – Минск: Высш. шк., 1972.
22. Касимов Н.С. Геохимия степных и пустынных ландшафтов. – М., 1988.
23. Ковалевский В.В. Геохимическая экология. – М.:Наука. 1974. – 298 с.
24. Малишева Л.М. Геохімія ландшафтів: Навчальний посібник. – Київ: РВЦ “Київський ун-т”, 1988. – 264 с.
25. Мицкевич Б.Ф. Основы ландшафтно-геохимического районирования. – Киев. 1981. – 173 с.
26. Мырлян Н.Ф. Геохимия агроландшафтов Молдавии. - Кишинев: Штиинца, 1980. – 178 с.
27. Новиков Ю.В. и др. Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – 400 с.
28. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высш. шк., 1975. – 241 с.
29. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высш. шк., 1989. – 528 с.
30. Перельман А.И. Биокосные системы Земли. – М.:Наука, 1977. – 106 с.

31. Перельман А. И. Геохимия природных вод. – М.:Наука, 1982. – 154 с.
32. Перельман А.И. Атомы-спутники. – М.: Наука, 1990. – 176 с.
33. Полюнов В.В. Избранные труды. – М., 1956. – 751 с.
34. Ромапова И.В. Основи аналітичної хімії. – К.: Рад. шк., 1983. – 160 с.
35. Сушик Ю.Я. Геохімічні ландшафти Українських Карпат // Геологічний журнал. – 1971. – Т. 31. – С. 37-45.
36. Чертко П.К. Геохимия ландшафта. – Минск: Изд-во БГУ. – 157 с.
37. Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды / перев. с англ./ – М.: Прогресс, 1985. – 360 с.
38. Шевченко Л.Н. Величко В.А. К методики составления ландшафтно-геохимических карт //Физическая география и геоморфология. – Вып. 25. – Киев, 1981. – С. 90-91.
39. Скогсехимия городских ландшафтов /Под ред. Н.С. Касимова. – М., 1991. – 312с.

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Ландшафтно-геохімічні системи	14
Розділ 2. Розповсюдженість хімічних елементів у оболонках землі, кларки.....	23
Розділ 3. Міграція хімічних елементів у ландшафті.....	30
Розділ 4: Водна міграція хімічних елементів.....	38
Розділ 5: Біогенна міграція хімічних елементів	58
Розділ 6: Техногенна міграція.....	67
Література	80

Свідоцтво про державну реєстрацію
ДК № 891 від 08.04.2002 р.

Підписано до друку 22.06.2002. Формат 60x84/16.
Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 4.5. Обл.-вид. арк. 4.9.
Зам. 267. Тираж 100.
Друкарня видавництва "Рута" Чернівецького національного університету
58012, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2.

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ

ЕЛЕМЕНТІВ Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА

ПЕРІОДИ	РЯДИ	Г Р У Ц И					
		I	II	III	IV	V	
I	1	H ¹ ВОДЕНЬ 1,00797					
II	2	Li ³ ЛІТІЙ 6,939	Be ⁴ БЕРИЛИЙ 9,012	B ⁵ БОР 10,811	C ⁶ ВУГЛЕЦЬ 12,011	N ⁷ АЗОТ 14,007	
III	3	Na ¹¹ НАТРІЙ 22,990	Mg ¹² МАГНІЙ 24,312	Al ¹³ АЛЮМІНІЙ 26,982	Si ¹⁴ КРЕМНІЙ 28,086	P ¹⁵ ФОСФОР 30,974	
IV	4	K ¹⁹ КАЛІЙ 39,102	Ca ²⁰ КАЛЬЦІЙ 40,08	Sc ²¹ СКАНДІЙ 44,956	Ti ²² ТИТАН 47,90	V ²³ ВАНАДІЙ 50,942	
	5	Cu ²⁹ МІДЬ 63,546	Zn ³⁰ ЦИНК 65,37	Ga ³¹ ГАЛІЙ 69,72	Ge ³² ГЕРМАНІЙ 72,59	As ³³ МИШ'ЯК 74,922	
V	6	Rb ³⁷ РУБІДІЙ 85,47	Sr ³⁸ СТРОНЦІЙ 87,62	Y ³⁹ ІТРИЙ 88,905	Zr ⁴⁰ ЦИРКОНІЙ 91,22	Nb ⁴¹ НІОБІЙ 92,906	
	7	Ag ⁴⁷ СРІБЛО 107,868	Cd ⁴⁸ КАДМІЙ 112,40	In ⁴⁹ ІНДІЙ 114,82	Sn ⁵⁰ ОЛОВО 118,69	Sb ⁵¹ СУРМА 121,75	
VI	8	Cs ⁵⁵ ЦЕЗІЙ 132,905	Ba ⁵⁶ ВАРІЙ 137,34	La* ⁵⁷ ЛАНТАН 138,91	Hf ⁷² ГАФНІЙ 178,49	Ta ⁷³ ТАНТАЛ 180,948	
	9	Au ⁷⁹ ЗОЛОТО 196,967	Hg ⁸⁰ РТУТЬ 200,59	Tl ⁸¹ ТАЛІЙ 204,37	Pb ⁸² СВИНЕЦЬ 207,19	Bi ⁸³ ВІСМУТ 208,980	
VII	10	Fr ⁸⁷ ФРАНЦІЙ [223]	Ra ⁸⁸ РАДІЙ [226]	Ac** ⁸⁹ АКТИНІЙ [227]	Ku ¹⁰⁴ КУРЧАТОВІЙ [284]	Ns ¹⁰⁵ НІЛЬСВОРІЙ [260]	
ВИЩІ ОКСИДИ		R₂O	RO	R₂O₃	RO₂	R₂O₅	
ЛЕТКІ ВОДНЕВІ СПОЛУКИ					RH₄	RH₃	
* ЛАНТАНОЇДИ		Ce ⁵⁸ ЦЕРІЙ 140,12	Pr ⁵⁹ ПРАЗЕОДИМ 140,907	Nd ⁶⁰ НЕОДИМ 144,24	Pm ⁶¹ ПРОМЕТІЙ [145]	Sm ⁶² САМАРІЙ 150,35	Eu ⁶³ ЄВРОПІЙ 151,96
** АКТИНОЇДИ		Th ⁹⁰ ТОРІЙ 232,038	Pa ⁹¹ ПРОТАКТИНІЙ [231]	U ⁹² УРАН 238,03	Np ⁹³ НЕПУТІЙ [237]	Pu ⁹⁴ ПЛУТОНІЙ [242]	Am ⁹⁵ АМЕРИЦІЙ [243]

Е Л Е М Е Н Т І В							
VI	VII	VIII					
	(H)					² He ГЕЛІЙ 4,003	
⁸ O КИСЕНЬ 15,9994	⁹ F ФТОР 18,998					¹⁰ Ne НЕОН 20,183	
¹⁶ S СІРКА 32,064	¹⁷ Cl ХЛОР 35,453					¹⁸ Ar АРГОН 39,948	
²⁴ Cr ХРОМ 51,996	²⁵ Mn МАРГАНЕЦЬ 54,938	²⁶ Fe ЗАЛІЗО 55,847	²⁷ Co КОБАЛЬТ 58,933	²⁸ Ni НІКЕЛЬ 58,71			
³⁴ Se СЕЛЕН 78,96	³⁵ Br БРОМ 79,904					³⁶ Kr КРИПТОН 83,80	
⁴² Mo МОЛБДЕН 95,94	⁴³ Tc ТЕХНЕЦІЙ [99]	⁴⁴ Ru РУТЕНІЙ 101,07	⁴⁵ Rh РОДІЙ 102,905	⁴⁶ Pd ПАЛАДІЙ 106,4			
⁵² Te ТЕЛУР 127,60	⁵³ I ЙОД 126,904					⁵⁴ Xe КСЕНОН 131,30	
⁷⁴ W ВОЛЬФРАМ 183,85	⁷⁵ Re РЕНІЙ 186,2	⁷⁶ Os ОСМІЙ 190,2	⁷⁷ Ir ІРІДІЙ 192,2	⁷⁸ Pt ПЛАТИНА 195,09			
⁸⁴ Po ПОЛОНІЙ [210]	⁸⁵ At АСТАТ [210]					⁸⁶ Rn РАДОН [222]	
RO₃	R₂O₇	RO₄					
RH₂	RH						
⁶⁴ Gd ГАДОЛІНІЙ 157,25	⁶⁵ Tb ТЕРБІЙ 158,924	⁶⁶ Dy ДИСПРОЗІЙ 162,50	⁶⁷ Ho ГОЛЬМІЙ 164,930	⁶⁸ Er ЕРБІЙ 167,26	⁶⁹ Tm ТУЛІЙ 168,934	⁷⁰ Yb ІТЕРБІЙ 173,04	⁷¹ Lu ЛЮТЕЦІЙ 174,97
⁹⁶ Cm КОРІЙ [247]	⁹⁷ Bk БЕРКЛІЙ [247]	⁹⁸ Cf КАЛІФОРНІЙ [249]	⁹⁹ Es ЕЙНШТЕЙНІЙ [254]	¹⁰⁰ Fm ФЕРМІЙ [253]	¹⁰¹ Md МЕНДЕЛЄЄВІЙ [256]	¹⁰² No НОБЕЛІЙ [255]	¹⁰³ Lr ЛОУРЕНСІЙ [267]

