

**Кундельчук Оксана Петрівна**

кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Херсонського державного університету. Викладає наступні дисципліни: "Методологія геоекологічних досліджень", "Основи загальної екології та неоекологія", "Палеоекологія", "Теорія еволюції". Сфера наукових інтересів: геоекологія, екологія, палеоекологія, молекулярні основи екологічних адаптацій сучасних організмів, закономірності еволюційних процесів в історії розвитку життя на Землі.

**Давидов Олексій Віталійович**

кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри екології та географії Херсонського державного університету. Викладає наступні дисципліни: "Геоморфологія", "Фізична географія материків та океанів", "Загальне землезнавство", "Палеогеографія". Сфера наукових інтересів: геоморфологія морських берегів, палеогеографія, палеоекологія.

**МЕТОДОЛОГІЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**Кундельчук О.П., Давидов О.В.**

Кундельчук О.П., Давидов О.В.

# МЕТОДОЛОГІЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## КОНСПЕКТИ ЛЕКЦІЙ



Для студентів спеціальностей  
106 Географія, 103 Науки про Землю,  
014.07 Середня освіта (Географія)  
рівня вищої освіти "магістр"

ISBN 978-617-7573-28-8



9 786177 573288

**ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БІОЛОГІЇ, ГЕОГРАФІЇ І ЕКОЛОГІЇ  
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ ТА ГЕОГРАФІЇ**

**Кундельчук О.П., Давидов О.В.**

**МЕТОДОЛОГІЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ  
ДОСЛІДЖЕНЬ**

**КОНСПЕКТИ ЛЕКЦІЙ**

**Для студентів спеціальностей 106 Географія, 103 Науки про Землю,  
014.07 Середня освіта (Географія) рівня вищої освіти «магістр»**



**УДК 910.1 + 504(094)**  
**К 91**

**Кундельчук О. П., Давидов О. В.**

К 91      **Методологія геоекологічних досліджень: конспекти лекцій.** Навчальний посібник для студентів спеціальностей 106 Географія, 103 Науки про Землю, 014.07 Середня освіта (Географія) рівня вищої освіти «магістр» [Текст] / О.П. Кундельчук, О.В. Давидов. – Херсон: ФОП Вишемирський В.С., 2018. – 266 с.

**ISBN 978-617-7573-28-8**

Навчальний посібник містить конспекти лекцій по окремим питанням методології геоекологічних досліджень для студентів 106 Географія, 103 Науки про Землю, 014.07 Середня освіта (Географія) рівня вищої освіти «магістр» денної та заочної форм навчання, які включають теоретичний матеріал, перелік контрольних питань, схеми та малюнки необхідні для засвоєння питань, передбачених програмою дисципліни. Навчальний посібник рекомендований студентам і викладачам географічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

**Рецензенти:**

**Морозов О.В.,** д.с.-г.н., професор кафедри землеустрою, геодезії та кадастру, факультету водного господарства, будівництва та землеустрою Херсонського державного аграрного університету

**Кіріяк С.Г.,** к.геогр.н., викладач вищої категорії, директор Херсонського гідрометеорологічного технікуму, ОДЕКУ.

Рекомендовано до друку на засіданні кафедри екології та географії Херсонського державного університету (протокол № 2 від 04.09.2017 р.).

Рекомендовано до друку на засіданні методичної ради факультету біології, географії і екології Херсонського державного університету (протокол № 1 від 07.09.2017 р.).

Рекомендовано до друку на засіданні науково-методичної ради Херсонського державного університету (протокол № 1 від 18.10.2017 р.).

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради Херсонського державного університету (протокол № 3 від 30.10.2017 р.).

**УДК 910.1 + 504(094)**

ISBN 978-617-7573-28-8

© О.П. Кундельчук, О.В. Давидов, 2018  
© ФОП Вишемирський В.С., 2018

## ЗМІСТ

<b>Програма дисципліни</b> .....	4
Лекція 1. Геооекологія як наука. Методологічні підходи до проведення геооекологічних досліджень.....	9
<b>Розділ 1. Геооекологічні дослідження, пов'язані з підстелюючими гірськими породами</b> .....	15
Лекція 2. Дослідження напружень в гірських породах. Тектонічні землетруси і гірські удари.....	15
Лекція 3. Напруження розтягнення в гірських породах, розташованих на схилах. Зсуви.....	31
Лекція 4. Напруження розтягнення в гірських породах, розташованих над порожнинами в надрах Землі. Суфозії. Карст.....	37
Лекція 5. Кореляція між процесами вивітрювання гірських порід і руйнуванням будівельних матеріалів, отриманих з природних гірських порід, під дією факторів навколишнього середовища.....	48
Лекція 6. Геооекологічні наслідки, пов'язані з резонансом хвиль вібрацій в підстелюючих гірських породах.....	54
Лекція 7. Іонізуюче випромінювання.....	61
Лекція 8. Геохімічна і біогеохімічна спеціалізація геосистем .....	74
Лекція 9. Геохімічне антропогенне навантаження на екосистеми.....	87
<b>Розділ 2. Геооекологічні дослідження, пов'язані з атмосферним повітрям.....</b>	<b>99</b>
Лекція 10. Хімічне забруднення атмосферного повітря.....	99
Лекція 11. Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Встановлення розмірів санітарної зони підприємств.....	106
Лекція 12. Атмосферний озон. Озоноруйнівні речовини. Парникові гази.....	112
Лекція 13. Пожежі як екологічний фактор .....	120
Лекція 14. Біологічне забруднення атмосферного повітря .....	129
<b>Розділ 3. Геооекологічні дослідження, пов'язані з водними об'єктами.....</b>	<b>140</b>
Лекція 15. Джерела забруднення природних водних об'єктів. Встановлення рівня антропогенного забруднення води. Оцінка якості води.....	140
Лекція 16. Самоочищення водних об'єктів від природних і техногенних забруднюючих речовин .....	147
Лекція 17. Накопичення забруднюючих речовин в донних відкладеннях.....	153
<b>Розділ 4. Геооекологічні дослідження, пов'язані з ґрунтовим покривом.....</b>	<b>166</b>
Лекція 18. Типи деградації ґрунтів. Ерозія ґрунту. Руйнування структури ґрунту.....	166
Лекція 19. Ґрунтовий комплекс поглинання. Хімічне забруднення ґрунтового покриву.....	177
Лекція 20. Біологічне забруднення ґрунтів і сільськогосподарської продукції.....	194
<b>Розділ 5. Геооекологічні дослідження геосистем .....</b>	<b>203</b>
Лекція 21. Функціонування геосистем. Аналіз впливу антропогенного перетворення територій на інтенсивність функціонування геосистем.....	203
Лекція 22. Динаміка і еволюція геосистем .....	211
Лекція 23. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень.....	227
Лекція 24. Самоочищення геосистем.....	253

## ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

**Вступ.** Геоекологія як наука. Области дослідження геоекології. Методи геоекологічних досліджень. Методологічні підходи при проведенні геоекологічних досліджень. Поняття про «синергетику». Геосистеми як синергетичні системи. Синергетичний підхід до екологічних об'єктів і екологічних досліджень. Застосування принципів синергетики при проведенні геоекологічних досліджень.

### Геоекологічні дослідження, пов'язані з підстелюючими гірськими породами

Дослідження напружень в гірських породах. Поняття напруженості гірських порід. Методи виявлення напружень в гірських породах. Ендогенні, екзогенні і космічні джерела полів напруження в гірських породах. Тектонічні землетруси і гірські удари. Причини виникнення тектонічних землетрусів і гірських ударів. Сила сейсмічного поштовху. Типи сейсмічних хвиль. Вимірювання інтенсивності тектонічних вібрацій. Принцип роботи сейсмографа. Магнітуда землетрусу. Типи магнітудних шкал. Будівництво на сейсмонебезпечних територіях. Методи захисту несучих конструкцій і трубопроводів від руйнівного впливу землетрусів. Глобальна мережа прогнозування землетрусів (GNFE).

Напруження розтягнення в гірських породах, розташованих на схилах. Зсуви. Причини розвитку зсувів і обвалів. Фактори, які є зовнішнім поштовхом для розвитку зсувів. Типи зсувів. Геологічний прогноз зсувної небезпеки схилів. Захист від зсувів. Відслоювання гірських порід. Соліфлюкція. Осипи. Типи руху осипів. Обвали. Попередження руйнівної дії осипів і обвалів.

Напруження розтягнення в гірських породах, розташованих над порожнинами в надрах Землі. Суфозії. Карст. Хімізм карстоутворення. Явище корозії змішування. Вплив температури навколишнього середовища на швидкість карстоутворення. Термокарст. Причини посилення карстових і суфозійних явищ в сучасних умовах. Оцінка рівня небезпеки територій за розвитком карстових і суфозійних процесів. Екологічні наслідки нестійкості горизонтальних поверхонь землі, пов'язаної з утворенням природних або техногенних порожнин під землею. Протикарстові і протисуфозійні заходи.

Вивітрювання гірських порід. Кореляція між процесами вивітрювання гірських порід і руйнуванням будівельних матеріалів, отриманих з природних гірських порід, під дією факторів навколишнього середовища. Фізичне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між фізичним вивітрюванням гірських порід і фізичним руйнуванням будівельних матеріалів. Хімічне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між хімічним вивітрюванням гірських порід і хімічним руйнуванням будівельних матеріалів. Біологічне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між біологічним вивітрюванням гірських порід і біологічним руйнуванням будівельних матеріалів. Оцінка агресивності підземних вод по відношенню до будівельних конструкцій. Захист будівельних матеріалів несучих конструкцій від руйнування в наслідок розвитку в них процесів вивітрювання.

Геоекологічні наслідки, пов'язані з резонансом хвиль вібрацій в підстелюючих гірських породах. Джерела вібрацій в підстелюючих гірських породах. Поширення хвиль вібрацій в підстелюючих гірських породах. Техногенні катастрофи, пов'язані з явищем резонансу в підстелюючих гірських породах. Причини руйнування підстелюючих поверхонь при впливі хвиль вібрацій. Спектральне сейсмопрофілювання. Використання методу спектрального сейсмопрофілювання для попередження техногенних катастроф резонансного характеру. Способи захисту несучих конструкцій від вібрацій.

Іонізуюче випромінювання. Поняття «іонізуюче випромінювання». Джерела іонізуючого випромінювання. Біологічна дія іонізуючого випромінювання на живі організми. Механізми самозахисту організмів, причини та наслідки неадаптації організмів до дії іонізуючого випромінювання. Об'єкти і матеріали, які підлягають радіаційному контролю. Законодавчі акти з радіаційного контролю. Основні дозиметричні величини. Прилади для здійснення радіаційного контролю. Нормативи іонізуючого випромінювання.

Геохімічна і біогеохімічна спеціалізація геосистем. Поняття кларка. Визначення кларків хімічних елементів і кларків концентрації хімічних елементів. Позитивні і негативні

геохімічні аномалії. Поняття геохімічної спеціалізації ландшафту. Причини геохімічної спеціалізації ландшафтів. Типоморфні хімічні елементи. Класи геохімічних ландшафтів. Етапи складання геохімічної формули ландшафту. Використання інформації, що міститься в геохімічній формулі ландшафту в екологічних, медичних та агроландшафтних дослідженнях. Використання геохімічного методу для пошуку родовищ корисних копалин. Поняття про парагенезис елементів.

Поняття біогеохімічної спеціалізації ландшафту. Медико-екологічні наслідки біогеохімічної спеціалізації ландшафтів: мікроелементози, хронічні ендемічні захворювання, інфекційні ендемічні захворювання. Типи мікроелементозів: природні, техногенні, аліментарні. Поняття абсолютного і відносного дефіциту/надлишку мікроелемента в навколишньому середовищі. Порушення оптимального співвідношення між мікроелементами при виникненні мікроелементозів. Принципи поділу територій на біогеохімічні зони і біогеохімічні провінції.

Геохімічне антропогенне навантаження на екосистеми. Методи встановлення вмісту неорганічних та органічних речовин в пробах води, повітря, ґрунтів та в зразках тканин організмів. Оцінка рівня геохімічного антропогенного навантаження на екосистеми. Визначення коефіцієнта концентрації хімічного елемента і сумарного показника забрудненості природного компонента. Поняття гранично допустимої концентрації хімічного елемента. Визначення коефіцієнта екологічної небезпеки хімічного елемента. Класи екологічної небезпеки забруднюючих речовин. Встановлення сумарного показника забрудненості середовища токсичними мікроелементами. Біологічне поглинання хімічних елементів живими організмами. Коефіцієнт біологічного поглинання. Фактори, від яких залежить накопичення хімічних елементів в живих організмах. Накопичення хімічних елементів в трофічних ланцюгах.

### **Геоекологічні дослідження, пов'язані з атмосферним повітрям**

Хімічне забруднення атмосферного повітря. Фактори забруднення атмосфери. Джерела хімічного і механічного забруднення атмосфери. Наслідки хімічного забруднення повітря. Відбір проб повітря і встановлення типу і концентрації забруднюючих речовин в повітрі. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря.

Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Встановлення розмірів санітарної зони підприємств. Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Метеорологічний потенціал накопичення забруднюючих речовин в атмосфері. Встановлення розмірів санітарної зони підприємства. Обчислення умовних розсіювань викидів промислових газів з урахуванням параметрів газоповітряної суміші, що викидається, і параметрів району розміщення джерела забруднення.

Атмосферний озон. Озоноруйнівні речовини. Техногенні речовини, що руйнують озоновий шар. Небезпека руйнування озонового екрану. Нормативні документи по озоноруйнівним речовинам. Типи озону, що утворюється в атмосфері. Озонові діри. Нове покоління фреонів - безпечних для атмосферного озону і живих організмів.

Парникові гази. Поняття про «парниковий ефект». Природні астрономічні та геологічні причини сучасного підвищення температури навколишнього середовища. Нормативні документи по парниковим газам.

Пожежі. Екологічна оцінка впливу природних та техногенних пожеж на атмосферне повітря. Причини виникнення пожеж в природних екосистемах. Типи ландшафтних пожеж. Методи боротьби з ландшафтними пожежами. Наслідки ландшафтних пожеж. Промислові та побутові пожежі. Причини загорянь при виникненні промислових і побутових пожеж.

Біологічне забруднення атмосферного повітря. Типи біологічного забруднення атмосферного повітря. Алергени в атмосферному повітрі. Виробничі алергії. Патогени в атмосферному повітрі (спори бактерій і грибів, віруси). Оцінка санітарно-мікробіологічного стану атмосферного повітря. Обчислення мікробного числа. Встановлення видової приналежності грибів і бактерій, що забруднюють атмосферне повітря. Летючі продукти життєдіяльності організмів.

## **Геоекологічні дослідження, пов'язані з водними об'єктами**

Джерела забруднення природних водних об'єктів. Встановлення рівня антропогенного забруднення води. Джерела хімічного забруднення водних об'єктів. Відбір проб води та донних відкладень для виявлення фактів їх хімічного забруднення. Аналіз проб води на наявність хімічних забруднюючих речовин. Встановлення рівня антропогенного забруднення води. Поняття ГДК і ГДВ. Оцінка якості води. Загальна оцінка якості води. Вміст кисню у воді. Характеристика водойм (і стічних вод) по Кольквітцу за рівнем сапробності. Оцінка рівня забруднення води за показниками ХЗК та БПК. Оцінка рівня хімічного забруднення води. Оцінка рівня біологічного забруднення води. Визначення колі-титру питної води.

Самоочищення водних об'єктів від природних і техногенних забруднюючих речовин. Шляхи самоочищення водних об'єктів. Механічний винос забруднюючих речовин за межі водного об'єкта. Осідання забруднюючих речовин на геохімічних і біологічних бар'єрах. Розкладання забруднюючих речовин. Природний потенціал самоочищення поверхневих водойм. Потенціал самоочищення підземних вод. Встановлення охоронних зон водозабору підземних вод.

Накопичення забруднюючих речовин в донних відкладеннях. Небезпека накопичення забруднюючих речовин в донних відкладеннях. Причини накопичення забруднюючих речовин в донних мулах. Ступінь техногенного навантаження на водний об'єкт. Десорбція важких металів і радіонуклідів з фракції донних відкладень. Використання донних відкладень в господарській діяльності людини. Класифікація видобутих донних відкладень за ступенем забруднення і можливості використання донних відкладень різного рівня забруднення. Критерії визначення рівня забруднення стандартних і нестандартних донних відкладень. Вплив дампінгу ґрунтів на стан морських екосистем. Очищення донних відкладень від забруднюючих речовин.

## **Геоекологічні дослідження, пов'язані з ґрунтовим покривом**

Типи деградації ґрунтів. Ерозія ґрунту. Вітрова ерозія ґрунтів (дефляція). Водна ерозія. Іригаційна ерозія ґрунтів. Пасовищна ерозія ґрунтів. Руйнування структури ґрунту. Поняття структури ґрунту. Динаміка ґрунтових структурних агрегатів. Природні і антропогенні фактори, які порушують структуру ґрунту. Дегуміфікація ґрунтів.

ґрунтовий комплекс поглинання. Хімічне забруднення ґрунтового покриву. Поглинання катіонів і аніонів ґрунтовими частинками. ґрунтовий комплекс поглинання. Механізм структурування ґрунтових частинок. Ємність поглинання ґрунтів. Роль ґрунтового комплексу поглинання в живленні рослин. Екологічне значення поглинальної здатності ґрунту. Відбір проб ґрунту та методи виявлення забруднюючих речовин в пробах ґрунту. Забруднення ґрунтів важкими металами. Радіоактивне забруднення ґрунтів. Забруднення ґрунтів органічними речовинами. Небезпека присутності органічних забруднюючих речовин в ґрунтах. Типи шкідливого впливу органічних забруднюючих речовин. Загальнотоксичні ефекти пестицидів. Способи захисту ґрунтів від органічних забруднюючих речовин. Методи очищення ґрунтів від забруднюючих речовин. Створення штучних ґрунтів. Тривалість відновлення ґрунтового покриву після його порушення. Потенціал стійкості ґрунтів. Аналіз потенціалу стійкості ґрунтів України до забруднення.

Біологічне забруднення ґрунтів і сільськогосподарської продукції. Біологічна небезпека, пов'язана з ґрунтовим покривом. Методи виявлення гельмінтного, бактеріального і грибного зараження ґрунтів. ґрунтові бактерії, небезпечні для життя людини і тварин. ґрунтові гриби, які продукують отрути для захисту своєї кормової бази. Гриби - паразити рослин, які синтезують токсини для захисту своєї кормової бази. Патогенні ґрунтові гриби, що викликають розвиток захворювань (мікози) у людини і тварин. Патогенні бактерії, які потрапляють в ґрунт з виділеннями людини і тварин і тривалий час там зберігаються.

## **Геоекологічні дослідження геосистем**

Функціонування геосистем. Аналіз впливу антропогенного перетворення територій на інтенсивність функціонування геосистем. Поняття «функціонування геосистем». Інтенсивність обігу води, мінеральних речовин, біотичних речовин і енергії в геосистемі.

Фактори, які впливають на функціонування геосистем. Каскадний ефект зміни показників функціонування геосистеми. Вплив господарської діяльності людини на функціонування геосистем. Коливання значень показників функціонування геосистем в природних і антропогенно-трансформованих геосистемах.

Динаміка і еволюція геосистем. Поняття про «динаміку» і «еволюцію» геосистем. Сукцесія як механізм реалізації динамічних і еволюційних змін в екосистемах. Дослідження сукцесійних змін в екосистемах. Методи прискорення та гальмування сукцесій. Регулювання швидкості ландшафтної сукцесії. Приклади кліматичних сукцесійних змін в екосистемах. Динамічні сукцесії відновлення екосистем після катастрофічних впливів (природних і антропогенних). Умови, при яких після зняття дії шкідливого чинника середовища, формуються посткатастрофічні еволюційні сукцесії. Аутосукцесії: динамічні і еволюційні. Первинні і вторинні сукцесії. Наслідки втручання людини в динаміку природних процесів в геосистемах.

Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. Поняття «стійкість геосистем». Поняття відмови геосистеми. Методи кількісної оцінки стійкості геосистем до антропогенних навантажень.

Стійкість до антропогенних навантажень перехідних територій між природною і господарською підсистемами. Поняття геоекотона. Техногенні геоекотонні зони. Геосистеми-агресори і геосистеми-донори. Рухливість геоекотонних зон. Вплив зміни клімату і антропогенної діяльності на динаміку геоекотонних зон. Екологічна небезпека накладання антропогенних геоекотонів на природні геоекотонні системи. Наслідки геоекотонізації батьківських геосистем.

Стійкість природних геосистем за умов оточення техногенними системами. Поняття про «біоцентри». Умови збереження біоцентрів. Біокоридори. Інтенсивність міграції організмів між біоцентрами. Вплив біоцентрів на прилеглі території. Побудова карти і графа біоцентрично-мережевої ландшафтної структури території. Оцінка екологічного благополуччя малих і середніх біоцентрів. Створення біокоридорів для збереження видів з фрагментованим ареалом проживання. Аналіз позитивної і негативної ролі біокоридорів в екосистемах.

Самоочищення геосистем. Шляхи самоочищення геосистем від забруднюючих речовин. Ефективність механічного виносу забруднюючих речовин за межі геосистеми. Ізолювання забруднюючих речовин в межах геосистеми на бар'єрах. Геохімічні бар'єри в геосистемі. Фізико-хімічні бар'єри. Хімічні бар'єри. Біологічні бар'єри. Використання рослин - накопичувачів важких металів для фіторе mediaції забруднених територій і акваторій. Деструкція забруднюючих речовин. Фізичне, хімічне і біологічне розкладання забруднюючих речовин.

### **Література до курсу «Методологія геоекологічних досліджень»:**

1. Шмандій В.М., Некос В.Ю. Екологічна безпека: Підручник для студентів екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Карзіна, 2008. – 436 с.
2. Боков В., Лущик А. Основы экологической безопасности. – Симферополь: Соната, 1998. – 223 с.
3. Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019 – 2001. Видання офіційне. – К.: Держстандарт України, 2002.
4. Дорогунцов С.І., Ральчук О.М. Управління техногенно-екологічною безпекою у парадигмі сталого розвитку. Наукове видання. – К., 2001. – 174 с.
5. Качинський А.Б., Хміль Г.К. Екологічна безпека України: системний аналіз, оцінка та державна політика. – К.: НІСД, 1997. – 127 с.
6. Концепція (Основи державної політики) національної безпеки України // Відомості Верховної Ради України. – 1997. - № 10.
7. Надзвичайні ситуації. Основи законодавства України. – Т. 1, 2. – К., 1998. – 544 с.



8. Стратегія екологічної безпеки (регіональний контекст) / Під ред. М.І. Долішнього, В.С. Кравціва. – Львів, 1999. – 243 с.
9. Трегобчук В.М. Стратегія ресурсно-економічної безпеки соціально-економічного розвитку України, К., - 1994.
10. Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки // Відомості Верховної Ради України. 1998. № 38–39. С.770–816.
11. Екологія і закон. Екологічне законодавство України. У 2 книгах / Відповід. ред. В.І. Андрейцев. К.: Юрінком Інтер, 1997. Кн.1. 704 с; Кн. 2. 576 с.
12. Афанасьев Ю.А., Фокин С.А. Мониторинг и методы контроля окружающей среды. М.: МНЭПУ, 1998.
13. Инженерная экология. Под ред. Медведева В.Т. М.: Гардарики, 2002.
14. Клименко Л.П.. Техноекология. Одеса-Сімферополь: Фонд Екопрінт-Таврія, 2000.
15. Лавейкіна Є.С. Регіональні аспекти управління природними ресурсами та екологічна безпека населення. Львів: Рада з вивчення продуктивних сил України, 2000.
16. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. М.: Высш. шк., 1996.
17. Рыбальский Н.Г. и др. Экология и безопасность. М.: ВНИИПИ, 1992.
18. Экология, охрана природы, экологическая безопасность. Под ред. В.И. Данилова-Данильяна. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.
19. Яцик А.В. Екологічна безпека в Україні. Київ: Генеза, 2001.
20. Законодавство Європейського Союзу у сфері охорони навколишнього середовища: Навчальний посібник / Ю.С. Голік, А.В. войтенко, О.Е. Іллюш та інш. – Полтава.: «Орляна», 2009. – 170 с.
21. Екологія і закон: Екологічне законодавство України: У двох кн. – К., 1997.
22. Малишко М.І. Основи екологічного права України. – К., 1999.
23. Соколовський О., Кардубан В., Бойчук О. Методичні рекомендації по застосуванню нормативних актів з питань охорони навколишнього середовища. – Тернопіль, 2000.
24. Шемшученко Ю.С. Правовые проблемы экологии. – К., 1989.
25. Баратов А.Н., Пчелинцев В.А. Пожарная безопасность. М.: Ассоциация строительных вузов, 1997.
26. Колечицкий Е.С. Защита от биологического действия электромагнитных полей промышленной частоты. М.: МЭИ, 1996.
27. Матросов А.С. Управление отходами. М. Гардарики, 1999.
28. Машкович В.П., Панченко А.М. Основы радиационной безопасности: Учеб. Пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1990.
29. Медведев В.Т. и др. Методы и средства защиты от шума. М.: МЭИ, 1997.
30. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-центр, 2001.
31. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства . За ред. В.В. Медведева, М.В. Лісового. Харків: Штрих, 2001.

## Лекція 1

### Тема: Геоєкологія як наука. Методологічні підходи до проведення геоєкологічних досліджень

#### 1. Геоєкологія як наука. Области дослідження геоєкології.

Геоєкологія - це міждисциплінарний науковий напрямок, що об'єднує дослідження складу, будови, властивостей фізичних і геохімічних полів геосфер Землі як середовища проживання людини та інших організмів. Основним завданням геоєкології є вивчення змін життєзабезпечуючих ресурсів геосферних оболонок під впливом природних і антропогенних факторів, їх охорона, раціональне використання і контроль з метою збереження для нинішніх і майбутніх поколінь людей продуктивного природного середовища (цитовано за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Области дослідження геоєкології як науки (цитовано за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>):

- глобальні геосферні життєзабезпечуючі цикли - вивчення ролі геосферних оболонок Землі в глобальних циклах перенесення вуглецю, азоту, води та ін.;
- глобальна геодинаміка і її вплив на склад, стан і еволюцію біосфери;
- екологічні кризи в історії Землі; глобальні і регіональні екологічні кризи;
- історичні реконструкції та прогноз сучасних змін природи і клімату;
- вплив геосферних оболонок на зміни клімату та екологічний стан навколишнього природного середовища;
- вплив геосферних оболонок на геофізичні та геохімічні поля Землі; геоактивні зони Землі;
- міждисциплінарні аспекти стратегії виживання людства і розробка наукових основ регулювання якості стану навколишнього середовища;
- природне середовище і його зміни під впливом урбанізації і господарської (у т.ч. гірничодобувної) діяльності людини: хімічне та радіоактивне забруднення ґрунтів, порід, поверхневих і підземних вод, виникнення і розвиток небезпечних техноприродних процесів, наведені фізичні поля, деградація кріолітозони, скорочення ресурсів підземних вод;
- характеристика, оцінка стану і управління сучасними ландшафтами;
- розробка наукових основ раціонального використання та охорони водних, повітряних, земельних, рекреаційних, мінеральних і енергетичних ресурсів Землі, санація і рекультивація земель, ресурсозбереження та утилізація відходів;
- геоєкологічні аспекти біорізноманіття;
- геоєкологічні аспекти природно-технічних систем; геоєкологічний моніторинг і забезпечення екологічної безпеки;
- динаміка, механізм, чинники та закономірності розвитку небезпечних природних і техноприродних процесів, прогноз їх розвитку, оцінка небезпеки і ризику, управління ризиком, превентивні заходи щодо зниження наслідків катастрофічних процесів, інженерний захист територій, будівель і споруд;
- геоєкологічне обґрунтування безпечного розміщення, зберігання та захоронення токсичних, радіоактивних та інших відходів; технічні методи і засоби безпечної утилізації відходів;
- геоєкологічні аспекти сталого розвитку регіонів;
- геоєкологічна оцінка територій: сучасні методи та методики геоєкологічного картування, моделювання, геоінформаційні системи і технології, бази даних; розробка наукових основ державної екологічної експертизи та контролю;
- теорія, методи, технології та технічні (в тому числі будівельні) засоби оцінки стану, захисту, відновлення і управління природно-технічними системами, включаючи агросистеми;
- спеціальні екологічно і технічно безпечні конструкції, споруди, технології будівництва і режими експлуатації об'єктів і систем в області природокористування і охорони навколишнього середовища; екологічно безпечне містобудування;

- технічні засоби, технології і споруди для прогнозу змін навколишнього середовища і його захисту, для локалізації та ліквідації негативних природних і техногенних впливів на навколишнє середовище;
- процедури контролю та моніторингу стану навколишнього середовища;
- теорія і методи оцінки екологічної безпеки існуючих та створюваних технологій, конструкцій і споруд, що використовуються в процесі природокористування;
- методи і технічні засоби оперативного виявлення, аналізу причин і прогнозу наслідків надзвичайних ситуацій, що загрожують екологічній безпеці;
- розробка і вдосконалення державного нормування і стандартів в природокористуванні, в оцінці стану навколишнього середовища;
- розробка науково-методичних основ і принципів екологічної освіти (цитовано за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>; Голубев, 2013; Ясаманов, 2003).

Гео екологічні дослідження спрямовані на розробку теоретичних основ, принципів і нормативів раціонального природокористування, сталого розвитку суспільства та оптимізації його взаємодії з навколишнім середовищем. Згідно Ісаченко А.Г., об'єктом гео екологічних досліджень є географічне середовище, а предметом - його стан з екологічної точки зору. (цитовано за Гагіна, Федорцева, 2002).

## **2. Методи гео екологічних досліджень (цитовано за <https://studfiles.net/preview/2855497/>).**

Для отримання необхідної гео екологічної інформації використовується цілий арсенал різноманітних методів досліджень. За місцем робочого циклу і положенням дослідника виділяють експедиційні, стаціонарні, камеральні, лабораторні, дистанційні (неконтактні) методи. За історією становлення і досвідом застосування всі методи діляться: а) на традиційні (порівняльний, історичний, літературний, картографічний методи); б) нові (сучасні) (геофізичний, геохімічний, статистичний методи, аерометоди і методи природної індикації); в) новітні (перспективні) (математичні і космічні методи, метод експертних оцінок, методи моделювання і прогнозування тощо).

Полювні методи являють собою спостереження за станом і функціонуванням всіх природних компонентів (підстилюючих гірських порід, ґрунтів, повітря, води, біоти) і геосистем в цілому.

Експериментальні методи включають в себе варіювання різних факторів, що впливають на природні компоненти геосистем, за виробленою програмою в стаціонарних лабораторних умовах.

Порівняльний метод сприяє виділенню з потоку гео екологічної інформації головного і особливого. Шляхом порівняння встановлюється спільність, схожість і відмінність об'єктів і процесів.

Історичний метод полягає в порівнянні станів, між якими відбуваються природні і техногенні зміни основних характеристик об'єкта, який досліджується, або факторів, що його формують. Різновидами історичного методу є палеоботанічний, палеофауністичний, палеогляціологічний методи, які використовуються для прогнозу розвитку природного середовища.

Літературний метод заснований на детальному вивченні літератури по темі дослідження. Цей метод дозволяє використовувати досвід інших вчених для подальшої розробки конкретної наукової проблеми.

Картографічний метод дослідження - полягає в створенні географічних і екологічних карт і їх вивченні для оцінки екологічної ситуації.

Геофізичний метод - це метод вивчення взаємозв'язків, що існують в гео еко системах у вигляді масо-енергообміну методами сучасної фізики.

Геохімічний метод спрямований на дослідження міграції (перенесення і перерозподілу) хімічних елементів в природі. У зв'язку з катастрофічним забрудненням окремих ділянок природного середовища цей метод є одним з основних в гео екології. З його допомогою визначають вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі, питній воді, поверхневих водах, ґрунтах, харчових продуктах.

Статистичний метод являє собою збір, обробку та аналіз численних статистичних даних по населенню, виробництву різноманітної продукції, по використанню природних ресурсів, антропогенному впливу на природне середовище, виконанню планів природоохоронних заходів, тощо.

Аерометоди - методи дослідження території за допомогою літальних апаратів, до яких відносять літаки, вертольоти, планери, повітряні кулі та авіамоторні моделі. До аерометодів відносять два види робіт: візуальні спостереження і аерофотозйомку.

Методи природної індикації засновані на взаємозв'язках природних компонентів і комплексів, і дозволяють визначити приховані і важкоспостерігаємі (деципієнтні) природні компоненти і їх властивості за допомогою візуально і безпосередньо спостережуваними (фізіономічними) компонентами та їх властивостями. Існує досить багато різних методів індикації ареалів забруднення: лишеноіндикація (індикація по лишайникам), кріпіндикація (індикація по мохам), дендроіндикація (індикація по деревній рослинності), гляціоіндикація (індикація по льоду льодовиків), педоіндикація (індикація по ґрунтам) і ін.

Математизація геоecологічних досліджень - це система методів, що дозволяють прискорити збір і обробку інформації, поліпшити методи її зберігання і способи отримання об'єктивних висновків. Сьогодні створені електронні банки географічної та екологічної інформації та систем експертних оцінок для геоecологічного прогнозування.

Космічна зйомка - метод, який дозволяє спостереження за динамікою природно-антропогенних процесів на величезних просторах окремо взятої країни і планети в цілому. Космічні фотознімки, виконані в різних зонах спектра, дозволяють фахівцям з геоecології виділяти найбільш кризові в екологічному відношенні ділянки Землі і вести за ними постійний контроль.

Метод експертної оцінки включає в себе визначення сучасного стану та прогнозування впливу результатів господарської діяльності на навколишнє природне середовище, на здоров'я і благополуччя людини, а також виявлення можливих порушень екологічної обстановки. Сьогодні усі господарські об'єкти, які або реконструюються, або вперше вводяться в дію, проходять державну екологічну експертизу.

Метод моделювання - метод опосередкованого практичного або теоретичного оперування об'єктом, при якому досліджується безпосередньо не сам об'єкт, а його точна копія (модель). Існують різноманітні методи моделювання - картографічне, математичне, логічне, комп'ютерне та ін. Методи моделювання дозволяють прогнозувати розвиток різних процесів в окремих природних компонентах в умовах змін стану навколишнього середовища (природний і техногенний фактори), а також - визначати перспективи взаємодії природних компонентів між собою і стану геосистем в цілому і т.н.

Прогноз можна визначити як розробку уявлень про майбутній стан об'єкта, оцінку перспектив розвитку. Основні методи прогнозування: логічний, порівнянь і аналогів, екстраполяції, інтерпретації, статистичний, експертних оцінок, картографічний, математичне моделювання, соціологічний та ін.

Методи інструментального (технічного) контролю стану природного середовища. В даний час первинна інформація про стан окремих компонентів природного середовища (атмосферного повітря, поверхневих і підземних вод, ґрунтів і рослинності) збирається в основному шляхом відбору проб і їх подальшого аналізу в лабораторних умовах за допомогою різного роду технічних приладів. Зараз існує досить багато таких приладів: фотоелектроколометри, спектрофотометри, плазмові фотометри, хроматографи, іоніметри, нітратоміри, радіаційні дозиметри та ін. (цитовано за <https://studfiles.net/preview/2855497/>).

### **3. Методологічні підходи при проведенні геоecологічних досліджень**

1) Компонентний підхід – передбачає детальне вивчення окремих компонентів природної або природно-господарської систем (повітря, води, ґрунтів і т.н). Такий підхід в геоecологічних дослідженнях дає високу точність в оцінці стану кожного компонента. Але, не дозволяє відтворити реальну картину - яка завжди представлена взаємодією всіх компонентів природної або природно-господарської систем.

II) Системний підхід – передбачає вивчення об'єкта як цілісної системи взаємодіючих компонентів. Такий підхід дозволяє побачити цілісну картину, однак, при цьому втрачається глибина оцінки стану кожного з компонентів системи.

#### **4. Геосистеми як синергетичні системи. Застосування принципів синергетики при проведенні геоecологічних досліджень (цитовано за Позаченюк, 2003).**

Синергетика - це теорія самоорганізації складних, відкритих, нерівноважних систем що розвиваються нелінійно. Геосистеми є системами складними, відкритими до дії зовнішніх чинників і, як наслідок відкритості, - системами нерівноважними і такими, що розвиваються нелінійно. Таким чином, природні геосистеми є синергетичними системами і їх поведінка підкоряється основним законам і принципам синергетики.

При проведенні геоecологічних досліджень обов'язково враховуються всі 12 принципів синергетики.

1) Принцип системності і цілісності - передбачає розгляд досліджуваного об'єкта як цілісної системи, яка складається з взаємопов'язаних природних компонентів (підстелюючих гірських порід, ґрунту, води, повітря, біоти) та яка на будь-який зовнішній вплив відповідає як єдине ціле. Наприклад, зрошення території призводить не тільки до зміни режиму зволоження, але і до зміни типу рослинності, видового складу мікроорганізмів, типів ґрунтів і т.н.

2) Принцип унікальності - вимагає обов'язкового врахування специфіки досліджуваного об'єкта, виявлення закономірностей розвитку саме цього об'єкта. Згідно з цим принципом, є неприпустимою формальна екстраполяція висновків попередніх досліджень аналогічних об'єктів на даний об'єкт. Наприклад, одна і та ж технічна система, але в різних кліматичних умовах, на різних ґрунтах та підстелюючих материнських породах і т.п., в результаті, буде давати різні природно-господарські системи. Наприклад, зрошення посушливих територій в одних природних умовах може підвищити родючість земель, а в інших умовах - може привести до підйому ґрунтових вод, до водної ерозії ґрунтів і т.н.

3) Принцип кумулятивності - полягає в тому, що результат одночасного впливу кількох чинників на природно-господарську систему не рівнозначний сумі результатів, що викликаються цими ж факторами, якщо вони діють окремо. Наприклад, рівень токсичного впливу заводських викидів відпрацьованих газів на прилеглі території в умовах вітряної погоди і в умовах штилю - буде різним. Наприклад, танення однієї й тієї ж кількості снігу - після безморозної і морозної зими може мати різні наслідки (зокрема, підтоплення територій при значному промерзанні ґрунтів).

4) Принцип синергізму - проявляється в тому, що спільна дія всіх елементів системи призводить до виникнення якісно інших властивостей, структур, процесів. Наприклад, автомобільні вихлопні гази в умовах інтенсивної сонячної радіації в результаті протікання фотохімічних реакцій перетворюються в нову канцерогенну речовину бензапірен (вихлопні гази + сонце = нова речовина бензапірен). Наприклад, розорювання територій і посадка нових видів рослин призводить до появи якісно інших типів ґрунтів і т.н.

5) Принцип обмеження - припускає наявність кордонів допустимого зовнішнього навантаження для кожного компонента системи. В межах цих кордонів - система стійка. Наприклад, при перевищенні допустимого рівня водозбору з озера відбувається зміна водно-сольового режиму водойми, що в свою чергу позначається на її флорі і фауні і, в кінцевому підсумку, може призвести до заміни існуючої природної системи на іншу.

6) Принцип стійкості - полягає в тому, що після зняття зовнішнього впливу, якщо сила його не перевищувала деяких порогових значень, система здатна повернутися до початкового стану. Наприклад, припинення обробітку сільсько-господарських територій призводить до заростання полів і відновлення природного рослинного покриву. Наприклад, припинення токсичних викидів у водойму призводить до відновлення природних біоценозів.

7) Принцип нестійкості - полягає в тому, що через відкритість системи до зовнішніх впливів, а також внаслідок накопичення в системі продуктів її життєдіяльності, можлива заміна однієї системи на іншу. Наприклад, накопичення токсичних відходів виробництва може привести на даній території до вимирання або якісної зміни типів рослинно-тваринних

співтовариств, до зміни складу ґрунтів і, в кінцевому підсумку, привести до заміни даної геосистеми на іншу.

8) Принцип нелінійного розвитку. При проведенні екологічних досліджень необхідно враховувати той факт, що внаслідок відкритості природної підсистеми до дії зовнішніх факторів через 50-100 років природна підсистема, на території якої функціонує господарський об'єкт, може мати характеристики, відмінні від початкових. Відомо, що зміни будь-якого фактора зовнішнього середовища відбуваються не лінійно: наприклад, зміни значень температури, вологості, інтенсивності тектонічних процесів, напрямків та рівня впливу сусідніх геосистем і т.н. досить важко передбачити. А оскільки неможливо передбачити характер змін кожного з факторів середовища, то і напрямок розвитку геосистеми в цілому також передбачити складно. У прогностичних екологічних дослідженнях необхідно враховувати той факт, що в природних геосистемах завжди є реліктові, консервативні і прогресивні елементи. Консервативні елементи геосистем - це елементи, найбільш адаптовані до існуючих фізико-географічних умов. Реліктові елементи - це елементи, що збереглися від попередніх геосистем, які функціонували на даній території. Прогресивні елементи - це зародки нових геосистем на території існуючої геосистеми. Не лінійність змін умов зовнішнього середовища може дати поштовх розвитку будь-якого з цих елементів. Таким чином, напрямок розвитку геосистеми не завжди залежить від її минулого і сьогодення і схема-прогноз «минуле» → «справжнє» → «майбутнє» є явно недостатньою (через нелінійність розвитку геосистем). Екологічні дослідження спроможні встановити тільки ймовірний напрямок розвитку досліджуваної природно-господарської системи.

9) Принцип провідного процесу. У геосистемі найчастіше є процес, який як би підпорядковує собі всі інші процеси (наприклад, режим опадів, режим сейсмологічної активності, температурний режим і т.н.). Важливо відзначити, що в стабільній геосистемі інтенсивність прояву провідного процесу носить періодичний характер (в іншому випадку система починає розвиватися в прискореному режимі, що веде до її переформування і можливої заміни даної геосистеми іншою). Таким чином, при проведенні екологічних досліджень обробку первинних даних необхідно вести з урахуванням періодичності проявів провідного фактора в геосистемі. Наприклад, для геосистем, в яких провідним фактом є режим опадів, при експертній оцінці рівня надійності господарських будівель необхідно проаналізувати дані по максимуму опадів за значний період часу, а не тільки в межах 10-20 років (що є допустимим при оцінці впливу на геосистему непровідних фізико-географічних факторів).

10) Принцип самоорганізованої критичності - полягає в тому, що геосистеми при зміні зовнішнього середовища здатні зберігати свій стан певний час незмінним, тобто, зміна стану геосистем йде не безперервно, а через певні стійкі стадії, які можуть зберігатися досить довго. Якщо при проведенні екологічних досліджень території не враховувати принцип ступінчастості змін в геосистемах, то, наприклад, при оцінці стану геосистеми в зоні токсичного впливу викидів хімічного комбінату, можна дати завищені оцінки благополуччя території.

11) Принцип узгодженості полягає в тому, що зміни будь-якого компонента геосистеми призводять до узгоджених, невідповідних змін інших компонентів геосистеми. Наприклад, зміна типу рослинності призведе до появи певного типу ґрунтів. Зміна режиму зволоження веде до зміни типу рослинності, видового складу мікроорганізмів, типів ґрунтів і т.п. З огляду на принцип узгодженості, дослідник, змінюючи якийсь компонент геосистеми, може передбачити, як і за який період часу будуть змінюватися інші компоненти геосистеми. Важливим моментом принципу узгодженості є врахування інерційності кожного з геокомпонентів (тобто, часу, за який геокомпоненти змінюються при зовнішньому впливі). Найбільш швидко змінюється температура і вологість, а найбільшою інерційністю відрізняються рослинні угруповання і ґрунти.

12) Принцип малих резонансних впливів. Реакція геосистеми на зовнішній вплив не завжди пропорційна силі зовнішнього впливу. Іноді слабкий вплив, якщо він входить в резонанс з процесами, що проходять в геосистемі, може мати на систему більший вплив, ніж більш сильний, але не резонансний вплив. Наприклад, при нормованому зрошенні полів на

дільниці № 1 - не було відзначено ніяких побічних явищ, тоді як на дільниці № 2, при такому ж рівні зрошення, був показаний підйом ґрунтових вод і, як наслідок, - поява вторинного засолення території. Дослідження показали, що на дільниці № 2 помірне зрошення території увійшло в резонанс з близьким заляганням ґрунтових вод, що і спровокувало підйом ґрунтових вод (цитовано за Позаченюк, 2003).

#### **Контрольні питання:**

1. Геоекологія як наука. Області дослідження геоекології.
2. Методи геоекологічних досліджень.
3. Методологічні підходи при проведенні геоекологічних досліджень.
4. Поняття про «синергетику». Геосистеми як синергетичні системи. Синергетичний підхід до екологічних об'єктів і екологічних досліджень.
5. Застосування принципів синергетики при проведенні геоекологічних досліджень:
  - а) принцип системності і цілісності;
  - б) принцип унікальності;
  - в) принцип кумулятивності;
  - г) принцип синергізму;
  - д) принцип обмеження;
  - е) принцип стійкості;
  - ж) принцип нестійкості;
  - з) принцип нелінійного розвитку;
  - і) принцип провідного процесу;
  - й) принцип самоорганізованої критичності;
  - к) принцип узгодженості;
  - л) принцип малих резонансних впливів.

#### **Література:**

1. Гагіна Н.В., Федорцова Т.А. Методы геоэкологических исследований: Курс лекций / Н. В. Гагіна, Т. А. Федорцова. – Мн.: БГУ, 2002. – 98 с.
2. Голубев Г.Н. Основы геоэкологии: учебник. - 2-е, стер. - М.: Кнорус, 2013. – 352 с.
3. Ясаманов Н.А. Основы геоэкологии: учеб. пособие. -М.: Академия, 2003. – 352 с.
4. Позаченюк Е.А. Экологическая экспертиза: природно-хозяйственные системы. - Симферополь, Таврический экологический институт. - 2003. - 405 с.
5. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М.: Мир, 1979. - 512 с.
6. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985
7. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986.
8. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. М.: Наука, 1985.
9. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. - М.: Мир, 1990
10. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. М.: Мир, 1991
11. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант: К решению парадокса времени. М.: Прогресс, 1994
12. Хакен Г. Принципы работы головного мозга: Синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности. М.: Изд-во Per Se, 2001. - 353 с.
13. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 320 с.
14. Губин В. Б. О методологии лженауки. - М.: ПАИМС, 2004. - 172 с.

## РОЗДІЛ 1. Геоекологічні дослідження, пов'язані з підстелюючими гірськими породами

### Лекція 2.

#### Тема: Дослідження напружень в гірських породах. Тектонічні землетруси і гірські удари.

##### 1. Поняття напруженості гірських порід.

Результати наукових досліджень дозволили виявити, що всі гірські породи в Земній корі знаходяться в напруженому стані. Наприклад, відомо, що швидкість звуку залежить від щільності середовища, через яке проходить звук. Так, швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с, у воді 1348 м/с, в металах - 6000 м/с. Пропускання звукового сигналу через гірські породи в одних випадках виявило прискорення проходження звукової хвилі, а в інших випадках - уповільнення проходження звуку через гірські породи. Таким чином, дослідниками було встановлено, що 98% кори Землі знаходиться в стані напруження стискання, і тільки 2% кори - знаходиться в стані напруження розтягування (як правило, це ділянки, приурочені до схилів або такі, що знаходяться над порожнинами в Землі).

Напруженість ( $\delta$ ) - це зусилля, яке припадає на одиницю площі перетину тіла. Напруженість стискання в центрі континентальних плит досягає  $\delta = 50 - 100$  МПа/м<sup>2</sup>, а в районі тектонічних розломів і ділянок взаємодії літосферних плит -  $\delta = 200 - 400$  МПа/м<sup>2</sup>. Як правило, сума векторів стискання (розтягування) зазвичай не дорівнює нулю і для кожної території виділяють напрямки найбільшої напруги стискання (або розтягування) гірських порід. Наприклад, Північно-Американська платформа має південно-західно - північно-східну вісь стискання (ПЗ-ПС).

##### 2. Методи виявлення напружень в гірських породах.

Виявлення напружень в гірських породах є необхідним для можливості завчасного передбачення катастрофічних наслідків зростання напружень стискання або розтягнення гірських порід. Напружений стан гірських порід змінює багато геофізичних характеристик порід, що дозволяє використовувати зміни цих характеристик для оцінки рівня напружень в гірських породах.

а) Акустичний метод. Підвищення напружень стискання гірських порід призводить до зростання щільності порід і, як наслідок, до зростання швидкості проходження через ці породи звукової хвилі. При зниженні напруги в гірських породах - швидкість проходження звукової хвилі через породи - знижується.

б) Електромагнітний метод. Висока напруженість гірських порід призводить до появи в площині максимальних напружень заряджених поверхонь - т.зв. п'єзоелектричний ефект. Тому, в області високих напруг діелектричні гірські породи (граніти, базальти) набувають властивості напівпровідників. Це призводить до того, що в зоні високих напруг змінюються характеристики електромагнітного поля, які можна зареєструвати за допомогою приладів.

в) Радоновий метод. В надрах Землі постійно відбувається розпад радіоактивних ізотопів хімічних елементів. Зокрема, уран розпадається до радію, радій - до радону. Радон - це радіоактивний газ з періодом напіврозпаду приблизно 3,8 доби. По тріщинах в земній корі цей газ піднімається до поверхні Землі, де і може бути зареєстрований за допомогою спеціальних приладів. При зростанні напруження стискання в земній корі - тріщини в корі закриваються і концентрація радону в приземному шарі атмосфери поступово знижується (через його радіоактивний розпад). При зростанні напруження розтягнення - кількість і діаметр тріщин в земній корі зростає, що призводить до зростання концентрації радону в приземному шарі атмосфери.

г) Тепловий (інфрачервоний) метод. Дослідження показали, що в зоні росту напружень стискання - підвищується температура гірських порід на + 6<sup>0</sup>С + 9<sup>0</sup>С. Відповідно, в зоні росту напружень розтягнення гірських порід - їх температура знижується. Сучасні супутники оснащені спеціальним обладнанням, яке реєструє зміни інтенсивності



інфрачервоного теплового випромінювання гірських порід, що дозволяє виявляти зміни в рівні їх напруженості.

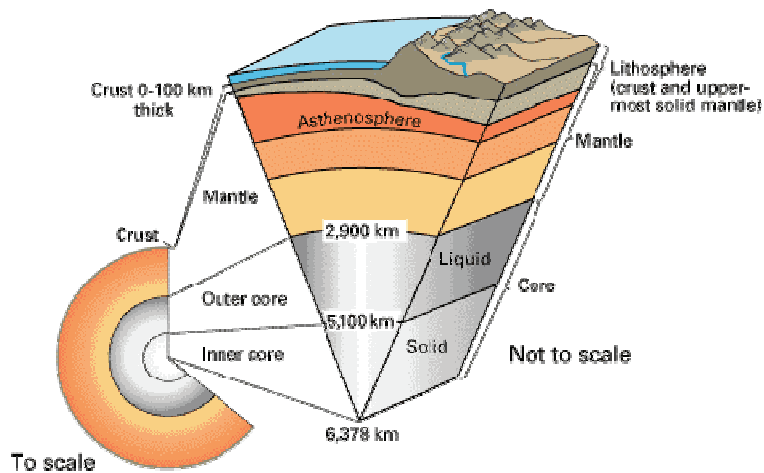
д) Фотографічний метод. На аеро- і космічних знімках поверхні землі виявляють зони розривів і тріщин, які з'являються внаслідок змін напруження гірських порід.

Дослідники працюють також з низкою інших методів. Однак, слід зазначити, що, на жаль, на сьогодні жоден з методів не дозволяє з достатньою точністю спрогнозувати час і місце розриву перенапружених гірських порід і виникнення землетрусу. Найбільш безпомилково пророкують прихід катастрофічного землетрусу тварини - які за кілька годин до землетрусу залишають небезпечні території та акваторії. Дослідники вважають, що тварини чують інфразвукові хвилі, які генеруються під час розриву гірських порід і які поширюються швидше, ніж хвилі вібрацій.

### 3. Ендогенні джерела полів напруження в гірських породах.

Ендогенні джерела полів напруження в гірських породах - це процеси, що відбуваються в Земній корі і в мантії. Рушійна сила цих процесів - термо-гравітаційна нестійкість речовини мантії Землі до глибини 2900 км. Ендогенні джерела створюють основні поля напружень в гірських породах - 50 - 400 МПа/м<sup>2</sup>.

а) В астеносферному шарі мантії Землі (шар розташовується на глибині 75 - 175 км) - речовина мантії перебуває не в твердому, а в в'язко-рідкому стані. Цей в'язкий шар мантії рухається - відбувається його ротація (рух по колу) через обертання Землі навколо своєї осі і конвекція (рух вгору-вниз) через охолодження одних шарів астеносфери і нагріву інших шарів. Повільний рух речовини астеносферного шару мантії через в'язке тертя передає зусилля в вищерозміщені ділянки мантії і в земну кору, викликаючи в ній напруження і відповідні деформації.



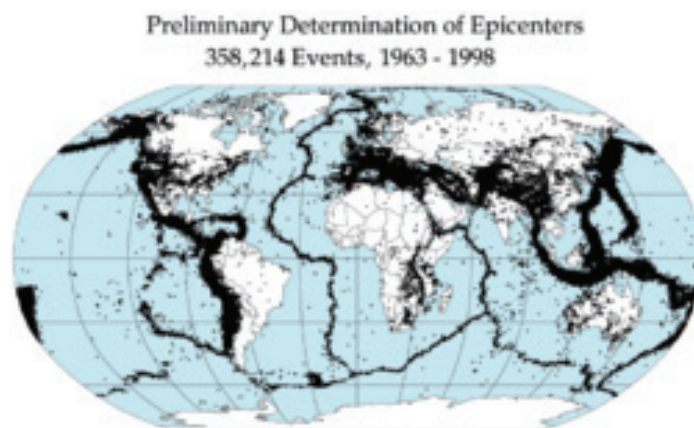
Схематична будова Землі.

б) Напруження в земній корі також генеруються в результаті взаємодії літосферних плит. Так, кора землі під океанами - є більш холодною і важкою, а під континентами - більш теплою та легкою. Це призводить до того, що океанічна кора занурюється, і як би підповзає під кору континентальну.

\*NB: Вважають, що цей тип взаємодії літосферних плит є наслідком прояву Архимедової сили виштовхування, яка діє на легку кору з боку більш важкої і пластичної мантії.

Крім того, в зоні серединно-океанічних хребтів відбувається виверження магм і формуються нові ділянки земної кори, тоді як в зоні тихо-океанічного вогняного кільця - стара кора занурюється в глиб мантії. При попаданні літосферних плит в поле дії низхідної конвективної ячейки відбувається зіткнення плит, що призводить до зростання напружень стиснення в зоні взаємодії і, як наслідок, до підйому гірських систем. При цьому жорсткість

літосферних плит дозволяє передавати напруження, що виникли в одній її частині, на інші ділянки, що знаходяться в декількох тисячах кілометрів від першої. Таким чином, взаємодія літосферних плит створює основні поля напружень в земній корі.



Епіцентри 358214 землетрусів за період 1963-1998 рр.

#### **4. Екзогенні джерела полів напруження в гірських породах.**

Екзогенні джерела полів напруження гірських порід дають значно менший внесок в створення напружень в земній корі. До екзогенних відносяться як природні, так і техногенні джерела полів напруження.

а) екзогенні джерела, що підвищують напруження в земній корі:

- перепади атмосферного тиску (NB! Початок землетрусів часто пов'язаний з сильними ураганами, які викликаються перепадами атмосферного тиску);
- розвиток покривного зледеніння;
- навантаження штучних водосховищ (влітку 2008 року в Китаї після заповнення великого штучного водоймища водою - почався один з найбільш руйнівних в історії Китаю землетрусів) і т.н.

б) екзогенні джерела, що знижують міцність гірських порід:

- відкачка нафти, газу, води з глибин, відбір рудних і горючих корисних копалин і т.п. призводить до формування підземних порожнин і знижує міцність порід до розривів;
- ерозійна діяльність вітру, річок і підземних вод (карстові і суфозійний процеси), створення техногенних підземних порожнин (тонелі, паркінги, сховища і т.н.) - зменшує міцність гірських порід.

#### **5. Космічні джерела полів напруження в гірських породах.**

До космічних джерел полів напруження в гірських породах відносяться:

а) ротаційні сили обертання Землі навколо своєї осі. Уздовж осі обертання Землі ротаційні сили спрямовані доцентрово, а перпендикулярно осі обертання Землі - відцентрово. При цьому в земній корі створюються напруження до  $0,1 \text{ Па/м}^2$ .

б) гравітаційний вплив Сонця, Місяця і інших планет Сонячної системи (створюють напруження до  $10 \text{ Па/м}^2$ ). У літописах історики відзначають приуроченість сильних землетрусів до Сонячних і Місячних затемнень. Відомо, що в моменти затемнень - космічні тіла розташовуються уздовж однієї лінії, що підсилює їх гравітаційну взаємодію. Крім того, астрономам відомо, що певне взаємне розташування інших планет Сонячної системи (Юпітер, Нептун і т.н.) також може провокувати запуск тектонічних землетрусів.

Важливо відзначити, що основні напруження в гірських породах (після землетрусів і відповідної розрядки напружень) накопичуються в результаті дії ендегенних факторів. А ось момент розрядки і місце розрядки - залежать від екзогенних і космічних факторів.

## **6. Причини виникнення тектонічних землетрусів і гірських ударів.**

Якщо напруженість в гірських породах перевищує межу міцності даних порід - то відбувається різкий стрибкоподібний розрив порід і їх зміщення. При цьому колосальна енергія, запасена в напружених гірських породах (до 400 МПа/м<sup>2</sup>) виділяється у вигляді теплової енергії та енергії сейсмічного удару. Тобто, енергія, що виділилася, витрачається на розігрів порід (в місцях розривів гірські породи оплавлені) і на механічну деформацію порід, наслідком якої є генерування пружних механічних хвиль вібрацій.

Гірські удари в шахтах і рудниках, також як і землетруси, виникають в тому випадку, якщо напруженість в гірських породах перевищує міцність цих порід. При цьому, гірські удари провокуються:

а) вібраціями гірничодобувного обладнання, внаслідок роботи якого накопичуються деформації в гірських породах;

б) зниженням міцності гірських порід через формування підземних пустот внаслідок вироблення корисних копалин;

в) неправильною орієнтацією стовбура шахти, рудника або тунелю щодо осі основних напружень в гірських породах: якщо вісь шахти (або тунелю метрополітену) збігається з віссю максимальних напружень в гірських породах - то така конструкція буде стійкою; проте, якщо шахта прокладена перпендикулярно осі напруг в гірських породах, то така шахта буде руйнуватися - від т.зв. «стріляння» порід (відриви шматків породи в шахті) до повного руйнування шахти.

## **7. Поняття «гіпоцентр» і «епіцентр» землетрусу.**

Гіпоцентр землетрусу (фокус землетрусу) - це глибинний центр землетрусу. За глибиною розташування гіпоцентру, землетруси поділяються на три групи: а) дрібнофокусні (глибина фокуса землетрусу 0 - 70 км); б) середньофокусні (глибина фокуса землетрусу 70 - 300 км); в) глибокофокусні (глибина фокуса землетрусу 300 - 700 км). Згідно зі статистикою, більшість землетрусів на Землі - це дрібнофокусні землетруси з центрами розриву гірських порід, розташованими на глибинах 10 - 30 км. Епіцентр землетрусу - це проекція гіпоцентра землетрусу на поверхню землі.

## **8. Поняття «форшоки» і «афтершоки».**

Форшоки - це система локальних невеликих землетрусів, які передують великому катастрофічному землетрусу. За появою форшоків прогнозують прихід сильного землетрусу і завчасно евакуюють людей. Чому після системи невеликих форшоків, як правило, починається потужний землетрус? У гіпоцентрі дрібних землетрусів йде скидання напружень, які за рахунок сейсмічних хвиль підвищують напруженість віддалених ділянок кори. При невдалій геометрії форшоків - вони запускають великий землетрус.

Афтершоки - це серія дрібних землетрусів, які відбуваються в досить віддалених районах після основного удару потужного землетрусу. Причина виникнення афтершоків полягає в тому, що великий землетрус підвищує за рахунок тектонічного удару напруження в гірських породах на віддалених ділянках, що провокує в них розриви і розвиток віддалених локальних землетрусів.

## **9. Сила сейсмічного поштовху.**

Сила сейсмічного поштовху на певній території - це міра руйнувань, викликаних землетрусом. У Європі та США сила сейсмічного поштовху оцінюється за 12 бальною шкалою (шкала Меркалі, шкала Медведєва-Шпонхейра-Карника і т.н.), в Японії - оцінка проводиться за 9-бальною шкалою. Ці шкали - досить умовні, тому що оцінюють ступінь руйнування будівель, яка часто залежить від якості несучих конструкцій, а не від реальної сили землетрусу.

Сила сейсмічного поштовху в даній точці залежить:

а) від енергії землетрусу (тобто від кількості енергії, яка виділяється в результаті розриву гірських порід);

б) від відстані даної точки до гіпоцентра землетрусу;

в) від будови земної кори на шляху проходження сейсмічних хвиль (кристалічні породи добре проводять сейсмічні хвилі, тоді як пухкі осадові породи - їх гасять);

г) від механічного складу і зволоженості порід, на яких стоїть фундамент будівель (пухкі і перезволожені породи під впливом хвиль вібрацій втрачають несучу здатність, що призводить до провалювання будівель під землею);

д) від спектрального складу сейсмічних хвиль поблизу поверхні (кожна будівля має свою власну частоту коливання, пов'язану з обертанням землі і з рядом інших факторів; якщо частота слабких сейсмічних хвиль входить в резонанс з власними коливаннями висотної будівлі - то вона швидше зруйнується, ніж при дії більш сильної хвилі, але такої, що не має резонансної з будівлею частоти);

е) від конструкційної надійності будівель на даній території.

Балл	Описание
1	Не ощущается
2	Ощущается немногими людьми
3	Заметно обычно внутри здания ; где качаются висячие предметы
4	Ощущается многими; в зданиях открываются двери и окна
5	Ощущается почти всеми; небольшие предметы падают
6	Ощущается всеми; вылетают окна, качаются деревья
7	Трудно устоять на месте; небольшие повреждения зданий
8	Трудно вести автомобиль; падают деревья и дымовые трубы
9	Трещины в земле; ломаются подземные трубы
10	Здания рушатся; реки выходят из берегов
11	Повреждается большинство зданий; рушатся мосты
12	Почти полное разрушение; огромные трещины и оползни

Шкала Меркалі. Шкала Меркалі виявляється корисною в тих випадках, коли не вдається отримати точних фізичних даних.

## **10. Типи сейсмічних хвиль.**

В результаті розриву гірських порід - частина потенційної енергії напруженості гірських порід перетворюється в механічну кінетичну енергію вібрації гірських порід. При цьому генеруються три типи сейсмічних хвиль: поздовжні, поперечні і поверхневі хвилі.

а) при проходженні поздовжніх хвиль - кожна частка середовища зазнає зворотньо-поступального руху в напрямку поширення хвилі (швидкість поздовжніх хвиль, в залежності від щільності гірських порід і глибини проходження хвилі, становить 6 - 13 км/сек);

б) поперечні хвилі з'являються як результат реакції твердого середовища на зміну форми (зверніть увагу: в рідкому середовищі поперечні хвилі не з'являються). При проходженні поперечних хвиль - кожна частка породи коливається перпендикулярно напрямку поширення хвиль. Швидкість поперечних хвиль становить 3,5 - 8 км/сек.

в) поверхневі хвилі виникають на межі поділу двох середовищ, різних за своїм агрегатним станом (наприклад, на кордоні твердого і рідкого, твердого і газоподібного, рідкого і газоподібного середовищ). Швидкість поверхневих хвиль становить 3,2 - 4,4 км/сек. У цій групі виділяють хвилі Релея і Лява, названі на честь вчених, які розробили математичну теорію поширення цих хвиль. При проходженні хвиль Релея - частинки породи описують вертикальні еліпси, що лежать в очаговій площині. У хвилях Лява - частинки породи коливаються перпендикулярно напрямку поширення хвилі.

На початку генеруються поздовжні хвилі. Потім, у відповідь на деформацію твердого середовища, в твердих породах з'являються поперечні хвилі. По різниці в часі приходу поздовжніх і поперечних хвиль фахівець сейсмолог може обчислити, на якій відстані знаходиться центр землетрусу.

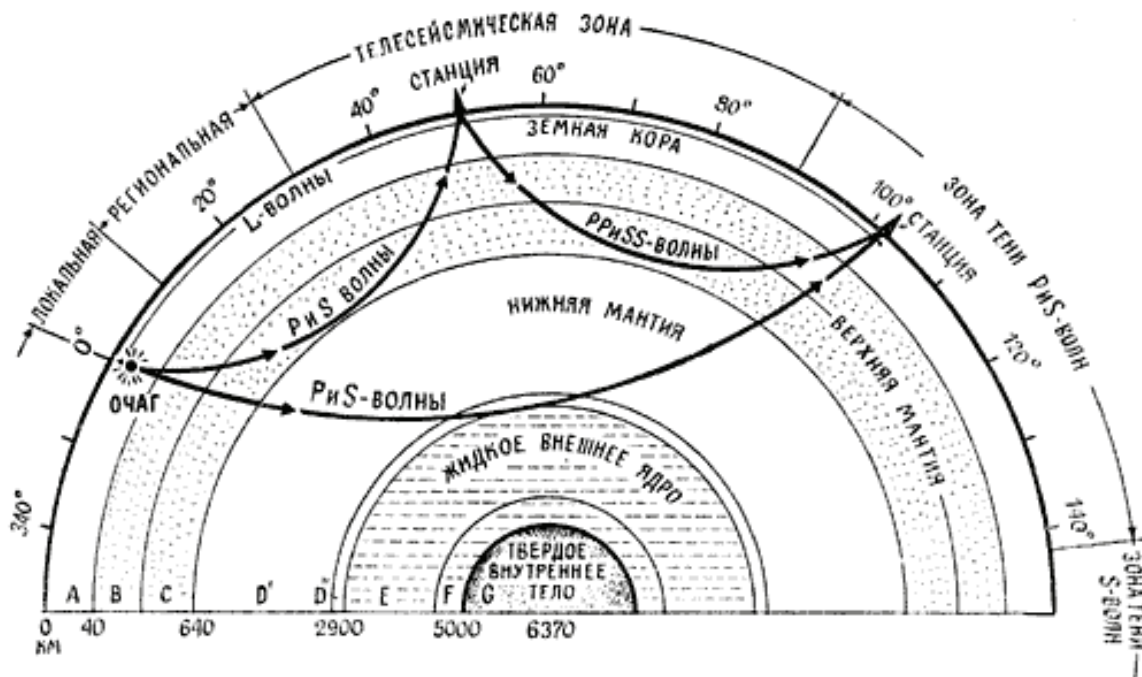


Схема внутрішньої будови Землі та шляхи поширення основних сейсмічних хвиль - поздовжніх (P), поперечних (S) і поверхневих (L) - від центра землетрусу до сейсмічної станції (1° = 110 км).

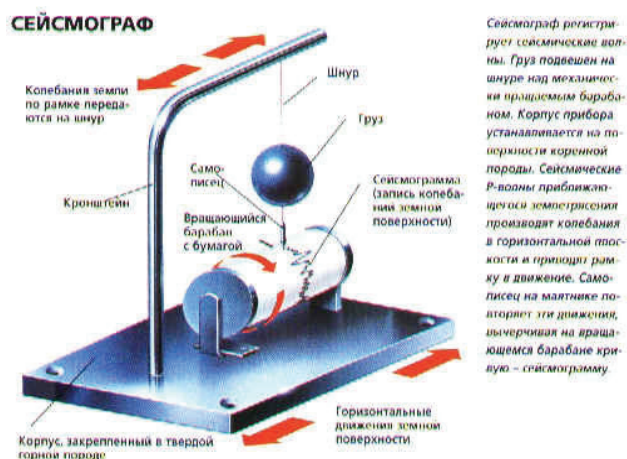
### 11. Вимірювання інтенсивності тектонічних вібрацій. Принцип роботи сейсмографа.

Вимірювання інтенсивності тектонічних вібрацій проводять за допомогою спеціальних приладів - сейсмографів. Сейсмограф реєструє час приходу і амплітуду сейсмічних хвиль. Самописець сейсмографа, в залежності від того, як розташований прилад, може реєструвати всі типи хвиль, що приходять - і поздовжні, і поперечні, і поверхневі. Оскільки швидкість поширення сейсмічних хвиль різного типу - різна, то порівнюючи час приходу різних сейсмічних хвиль - обчислюють відстань до центру землетрусу.

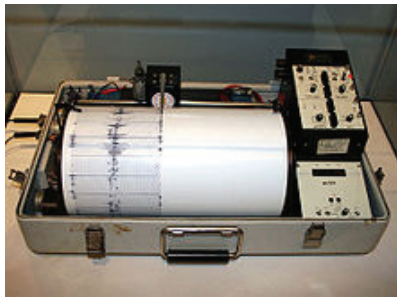
Відстань до епіцентру землетрусу обчислюється за такою формулою:

$$R_n = \Delta t_n \cdot V_s$$

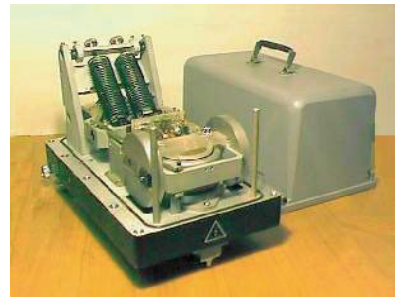
Де:  $R_n$  - відстань до епіцентру землетрусу за даними n-сейсмічної станції, км;  $\Delta t_n$  - різниця в часі приходу поздовжніх і поперечних сейсмічних хвиль, сек;  $V_s$  максимальна швидкість руху поперечних сейсмічних хвиль в гірських породах,  $V_s = 8$  км/сек.



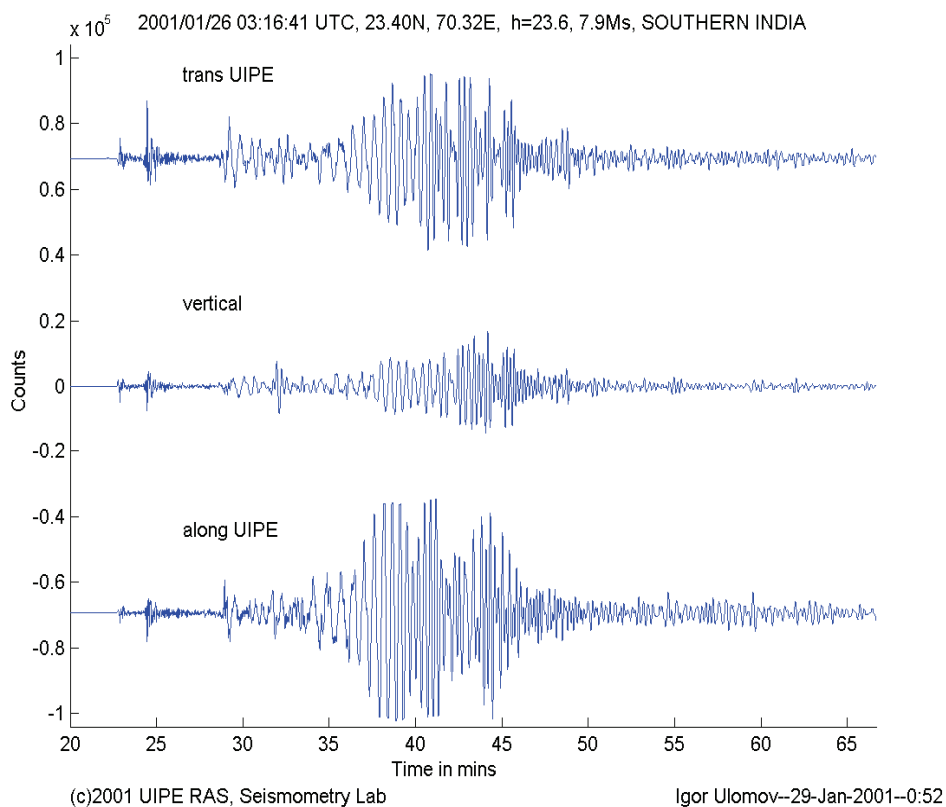
Примітивний механічний сейсмограф.



Один з варіантів електронного сейсмографа.



Вертикальний сейсмометр установки КСЭШ-Р



Зразок цифрового запису землетрусу в Індії,  $M = 7.9$ , 26.01.2001, отриманого на постійно-діючій широкосмуговій станції КСЭШ-Р.

## 12. Магнітуда землетрусу.

Ми говорили про те, що шкали інтенсивності землетрусів - умовні, тому що оцінюють ступінь руйнування будівель, яка часто не збігається з реальною інтенсивністю землетрусу. Тому, фахівці-сейсмологи на підставі даних сейсмографів, обчислюють значення магнітуди землетрусу.

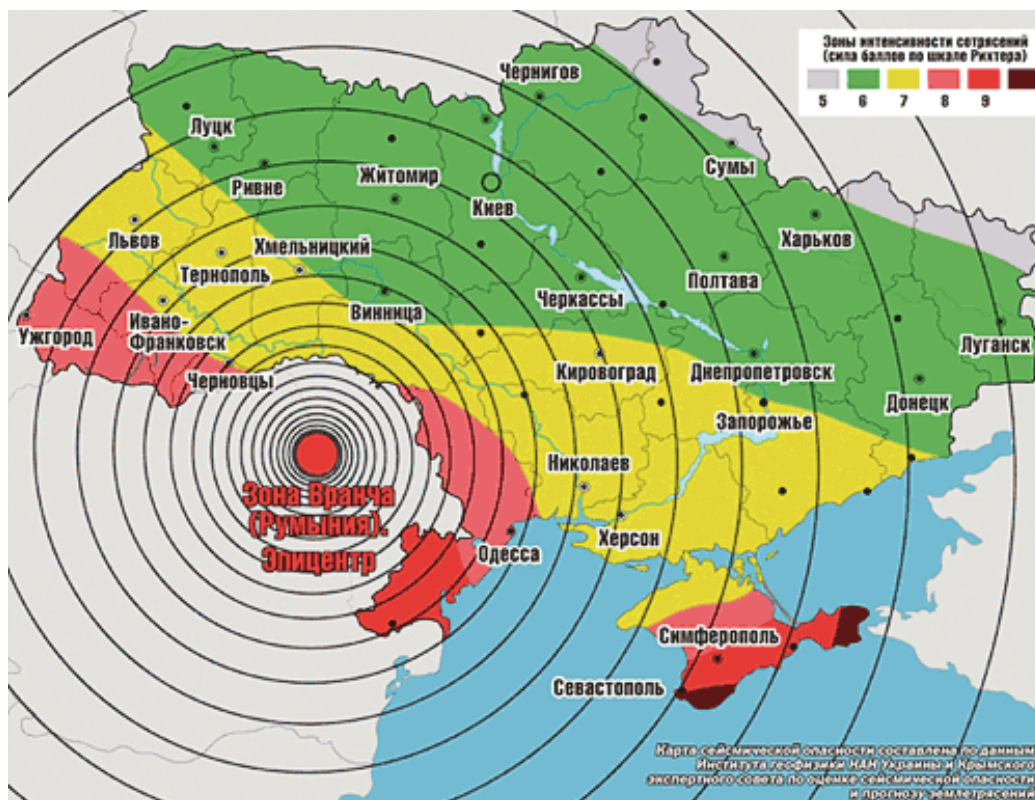
Магнітуда землетрусу - це величина, яку обчислюють на підставі даних сейсмографа і яка опосередковано характеризує кількість вивільненої при сейсмічному поштовху енергії. Перша шкала магнітуд землетрусів була винайдена в 1935 році американським професором Чарльзом Френсісом Ріхтером і носить його ім'я. В даний час використовується кілька магнітудних шкал, в залежності від того, з якого типу сейсмографами працює дослідник.

Кожний тип магнітуд обчислюється за своєю формулою. Наприклад, магнітуда Ріхтера обчислюється за такою формулою:

$$M_L = \lg A_{\max}$$

Де:  $M_L$  - магнітуда Ріхтера;  $A_{max}$  - максимальна амплітуда коливань (в мкм) по запису стандартного короткоперіодного (0,8 сек) крутильного сейсмографа на відстані 100 км від центру землетрусу.

\*NB! Як визначити відстань до центру землетрусу? При зміщенні блоків земної кори виникає кілька типів хвиль. По різниці в часі приходу поздовжніх і поперечних хвиль встановлюють відстань до центру землетрусу, при цьому в розрахунковій формулі використовують максимальну амплітуду коливань сейсмографа, розташованого на відстані 100 км від центру землетрусу.



Зони інтенсивності землетрусів на території України за шкалою Ріхтера.

### 13. Типи магнітудних шкал.

а) шкала локальних магнітуд Ріхтера. Дана шкала використовується для вивчення землетрусів, віддалених від епіцентру на 600 км і розташованих не глибше 30 км. Параметри хвиль реєструються за допомогою стандартного короткоперіодного крутильного сейсмографа, який уловлює короткоперіодні (такі, що приходять з інтервалом в 0,8 секунд) хвилі.

б) шкала уніфікованих магнітуд. Дана шкала використовується для вивчення глибинних землетрусів, фокус яких розташований на глибинах 600 км - 2 000 км. NB! Глибинні землетруси не породжують поверхневих хвиль. Сейсмограф записує поздовжні середньоперіодні хвилі з періодом приходу 4 - 5 секунд.

в) телесеїсмічна магнітудна шкала. Дана шкала використовується для оцінки землетрусів, віддалених на відстань більше 2 000 км. Параметри сейсмічних хвиль знімаються за допомогою дліноперіодного сейсмографа, який уловлює поверхневі хвилі коливання ґрунтів з періодом приходу 18 - 22 секунди.

Максимальна магнітуда землетрусу, зареєстрована на сьогоднішній день, складає 8,6 одиниць.

Таблиця 1. Співвідношення значень магнітуд землетрусу, отриманих за допомогою різних магнітудних шкал і співвіднесення їх зі шкалою інтенсивності сейсмічного поштовху.

Шкала Ріхтера:	Телесеїсмічна шкала:	Шкала інтенсивності сейсмічного поштовху:
4,3	3,0	IV
6,3	6,6	VIII
7,3	8,2	XII

\*NB! Значення магнітуд - величини безрозмірні, тоді як інтенсивність сейсмічного поштовху оцінюється в балах.

При збільшенні магнітуди землетрусу на одну одиницю - його енергія зростає приблизно в 32 рази, при цьому амплітуда коливань земної поверхні зростає тільки в 10 разів. Енергію, що виділяється при землетрусі середньої сили, можна порівняти з енергією ядерного вибуху (під час вибуху мегатонної бомби виділяється близько  $5 \cdot 10^{22}$  ерг енергії). При цьому власне сейсмічна енергія, що виноситься пружними хвилями, складає не більше 10% від всієї енергії, що виділяється при землетрусі. Інша частина енергії виділяється у вигляді тепла.

Таблиця 2.

Щорічна кількість землетрусів:	Магнітуда Ріхтера:
20	$M > 7$
1000	$5 < M < 7$
100 000	$5 < M$

#### **14. Будівництво на сейсмонебезпечних територіях.**

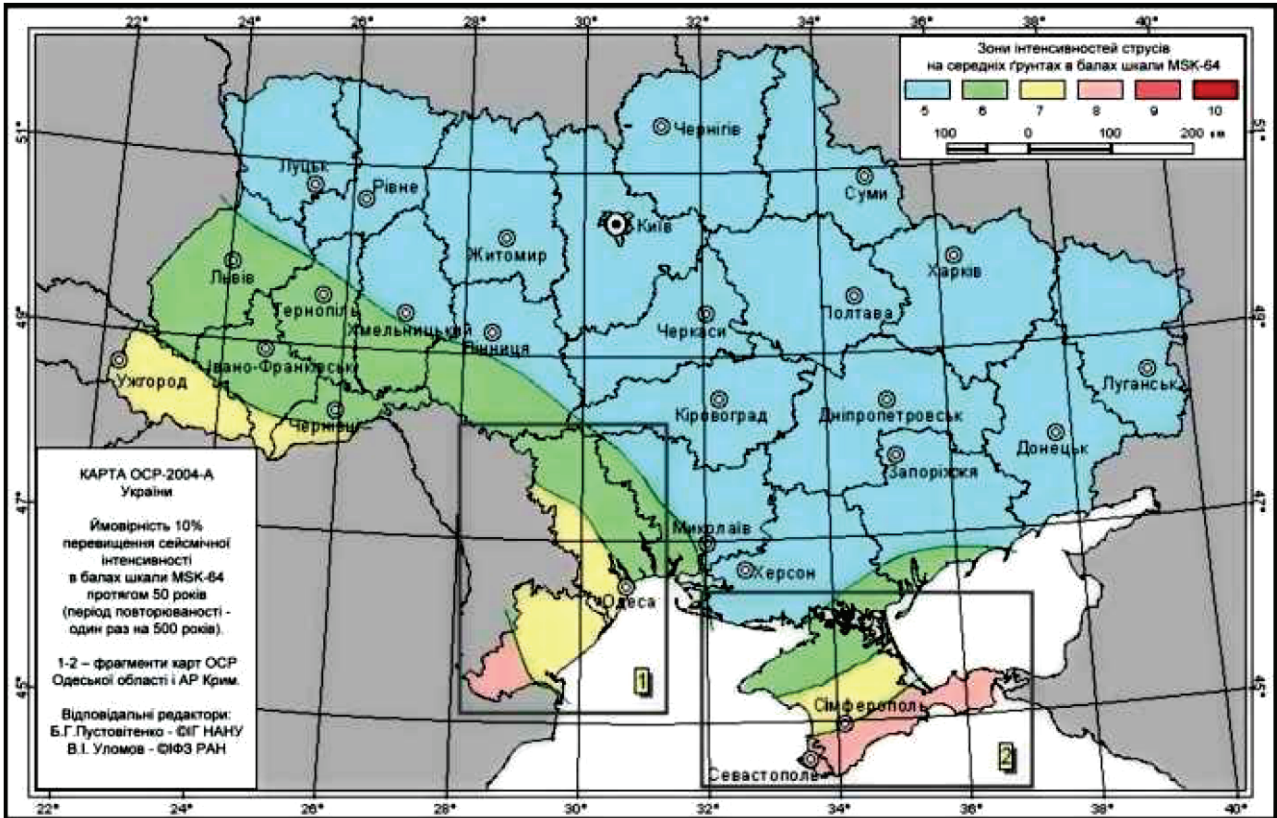
При підготовці проектної документації для будівництва будівель, мостів, трубопроводів і т.н. оцінюється: а) тектонічна активність території будівництва; б) механічний склад підстелюючих гірських порід; в) обводненість підстелюючих гірських порід.

Недооцінка рівня сейсмічної небезпеки зони будівництва може призвести до катастрофічних наслідків. З іншого боку, підвищення рівня сейсмічної небезпеки зони будівництва на 1 бал - робить будівництво істотно більш дорогим. І, таким чином, переоцінка рівня сейсмічної небезпеки зони будівництва робить проект більш ресурсно затратним.

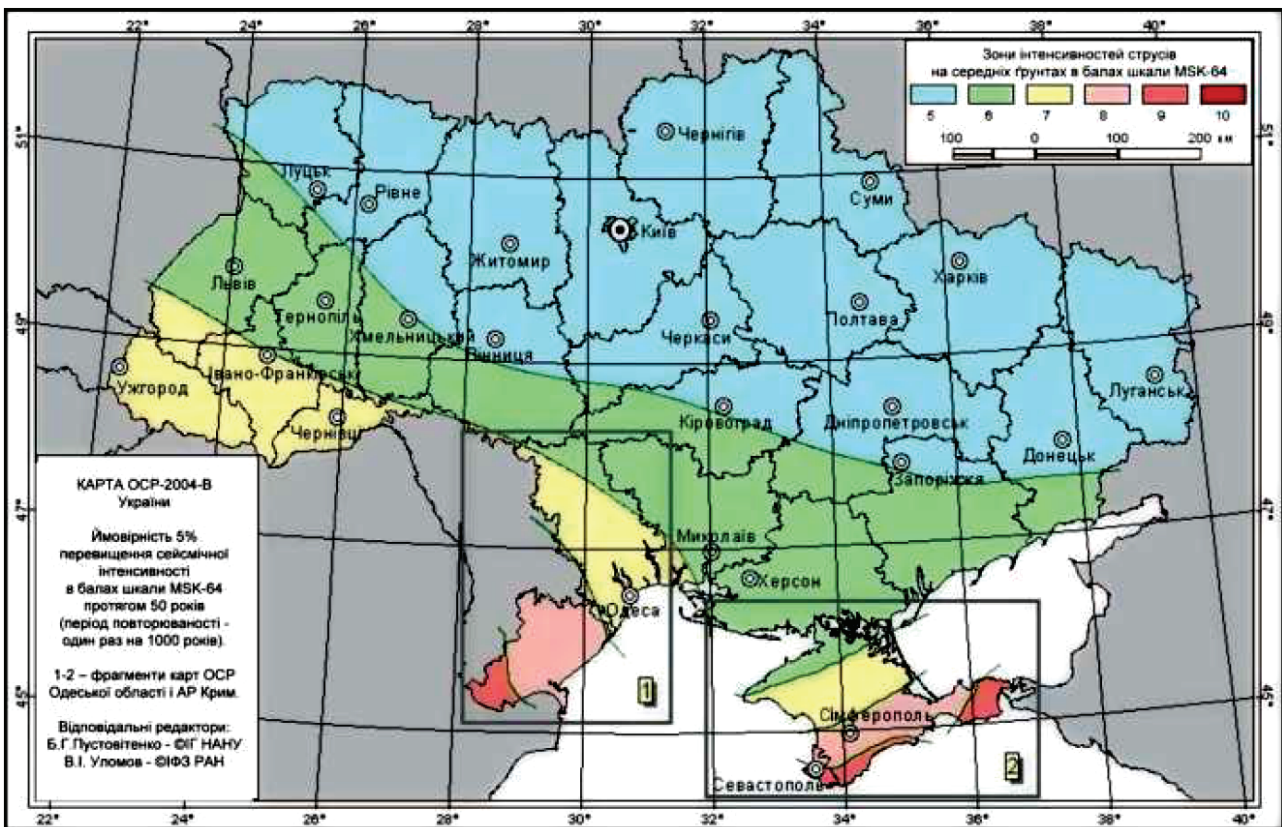
Додаток до Будівельних норм і правил ДБН В.1.1 - 12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» містить карти загального сейсмічного районування (ЗСР) території України з періодами повторюваності землетрусів один раз на 500 років (карта ЗСР-2004-А), 1000 років (карта ЗСР-2004-В) і 5000 років (карта ЗСР-2004-С) для середніх ґрунтових умов і ймовірності перевищення розрахункової інтенсивності протягом 50 років 10%, 5% і 1% відповідно для території всієї України, а також – детальні карти для АР Крим і Одеської області.

За умови звичайного низько-поверхового будівництва (до 73,5 м), а також – будівництва підприємств, які не становлять екологічної небезпеки – користуються картою ЗСР-2004-А. Багатоповерхове будівництво (73,5 – 100 м) і будівництво середньо-небезпечних промислових об'єктів - вимагає використання карти ЗСР-2004-В. Екологічно небезпечні об'єкти (атомні станції, підприємства хімічної промисловості і т.н.) – будуються з урахуванням сейсмічної небезпеки території відповідно до карти ЗСР-2004-С. \*NB! Екологічна небезпека кожного будівельного об'єкта визначається відповідно до ДБН В.1.2-14.

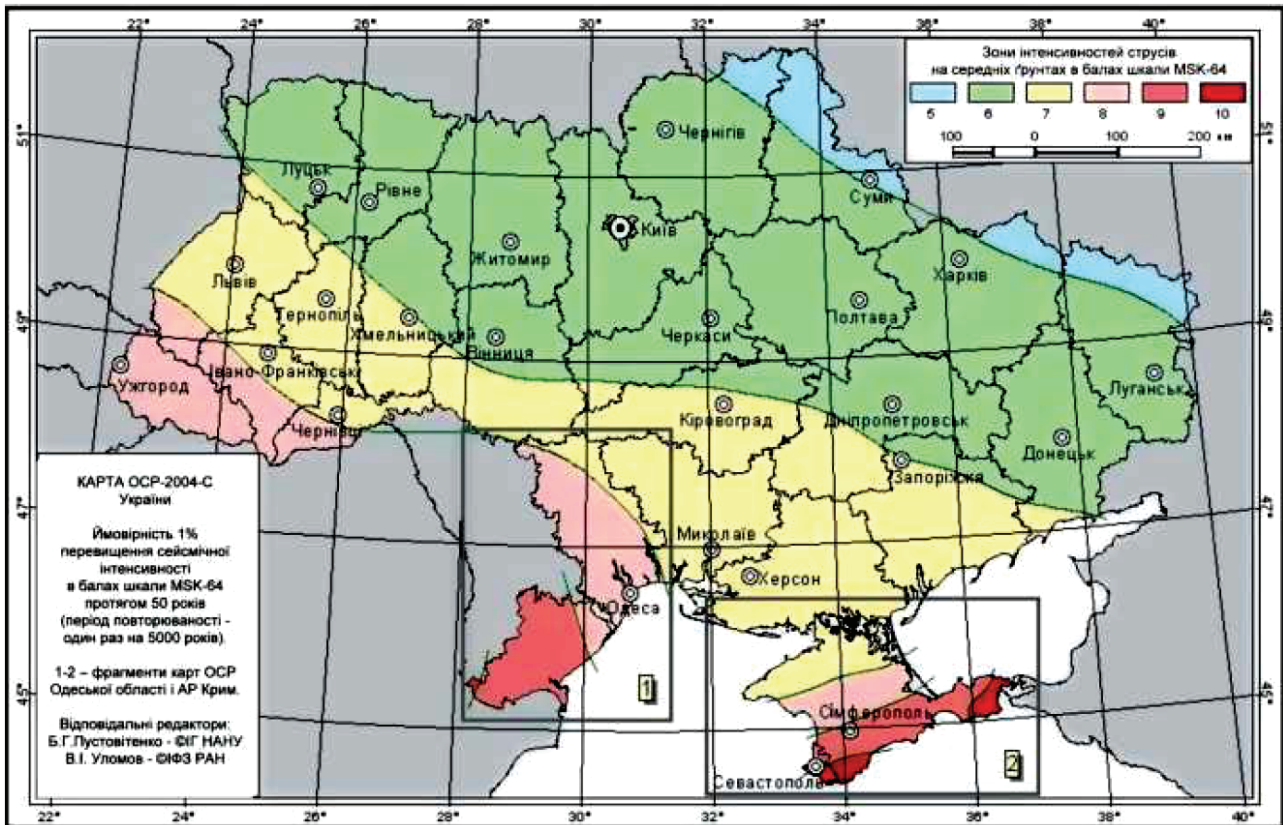




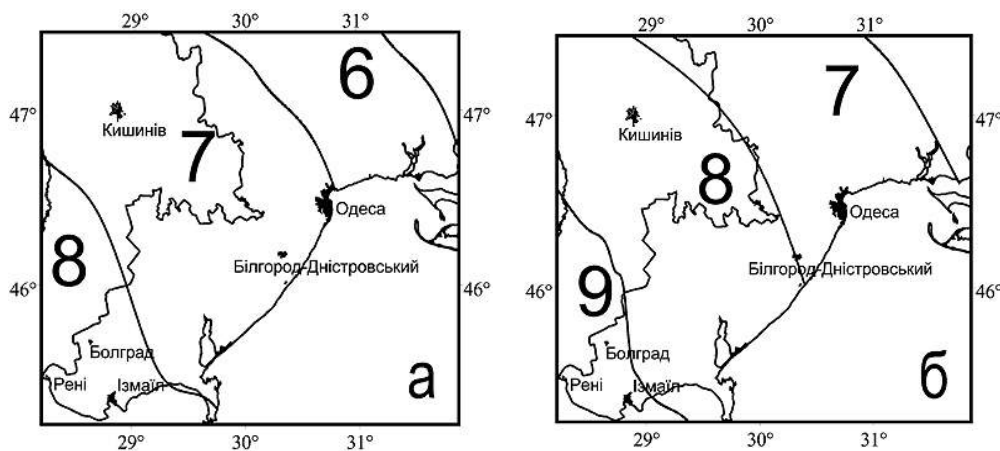
А - карта загального сейсмічного районування ЗСР-2004-А території України (за ДБН В.1.1 – 12:2014).



В - карта загального сейсмічного районування ЗСР-2004-В території України (за ДБН В.1.1 – 12:2014).



С - карта загального сейсмічного районування ЗСР-2004-С території України (за ДБН В.1.1 – 12:2014).



Карти сейсмічної небезпеки Одеської області: в балах за шкалою MSK-64 для періодів повторюваності: 1 раз в 500 років (а); 1 раз в 1000 років (б).

Перед початком будь-якого будівництва – визначають рівень сейсмічної небезпеки території за спеціальними картами, які складаються на підставі даних сейсмічних станцій. Слід відзначити, що в зоні древніх літосферних плит сейсмічні поштовхи практично не відбуваються. Тому, для оцінки потенційної небезпеки будівництва в таких регіонах - встановлюють віддаленість зони будівництва від древніх розломів. За останні 25 років, завдяки космічній фотозйомці, карти розривів в земній корі поповнилися на 90%. Наприклад, Воронежська АЕС розташована на старій платформі, недалеко від стародавнього і сьогодні спокійного тектонічного розлому, що знаходиться в долині річки Дон. За віддаленістю від древніх розломів встановлюють потенційну сейсмонебезпеку древніх платформ (для яких через рідкість сейсмічних подій неможливим є визначення сейсмічного режиму за статистичними даними про інтенсивність землетрусів). При цьому тектонічні порушення розглядаються як потенційно сейсмонебезпечний фактор. Використання спеціальних

розрахункових формул дозволяє обчислити магнітуду можливого землетрусу на будь-якій відстані від розлому.

Неврахування сейсмічної небезпеки зони будівництва призводить до трагедій. Так, під час Спітакського землетрусу (Вірменія, 1988 р) загинуло 25000 чоловік: під час землетрусу, 9-ти і 5-ти поверхові панельні будинки склалися як карткові будиночки і поховали під собою все населення міста. Магнітуда цього землетрусу була 7,2. Через рік, в 1989 р, в США в місті Сан-Франциско стався землетрус з магнітудою 7,1. Однак, при цьому загинуло 68 осіб. Причина таких відмінностей в катастрофічності двох схожих за магнітудою землетрусів - надійність несучих конструкцій, яка повинна відповідати рівню сейсмічної небезпеки території будівництва.

У 1995 р на Сахаліні потужним землетрусом було знищено місто Нефтегорськ, оскільки місто було побудоване виходячи з прогнозу, що цей район є сейсмічно безпечним.



Наслідки землетрусу в м. Нефтегорськ, Сахалін, 1995 р. (за <https://yandex.ua/images/search?text>).

Таким чином, однією з причин трагедій - є недосконалість системи оцінки сейсмонебезпеки території будівництва. Наприклад, загальна сейсмонебезпечність на Сахаліні в 1962-1969 рр. оцінювалася в 6 балів, тоді як сьогодні - в 9-10 балів. Однак, з іншого боку, цілком можливо, що за вказаний період зросла сейсмічна небезпека самого регіону. Через змінившийся рівень сейсмічної небезпеки - багато будинків тепер мають дефіцит сейсмостійкості в 3 бали. До 50% будівель сьогодні є сейсмонестійкими в сейсмонебезпечних районах. Однак, ця проблема частково може бути вирішена: необхідно прибрати старі балкони, статуї на будівлях, відвести ґрунтові води - все це певною мірою захистить людей в разі початку землетрусу.

Рівень сейсмічної небезпеки території будівництва повинен коригуватися у відповідності з даними сейсмічних станцій. Наприклад, з 2004 р територія Калінінградської області була переведена в розряд регіонів з помірною сейсмічністю (магнітуда 5), оскільки 21.09.2004 р в регіоні було зафіксовано землетрус з магнітудою 4,9.

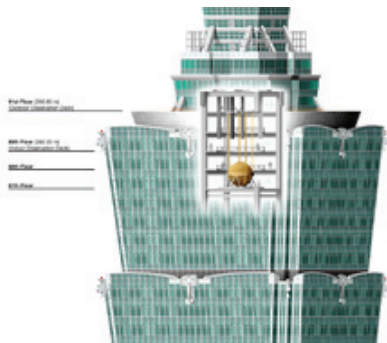
20% території України належить до сейсмічно небезпечних територій з землетрусами 6-9 балів за шкалою MSK-64. На цих територіях проживає 22% населення країни: Автономна Республіка Крим, Закарпатська область, Чернівецька область, Вінницька область, Кіровоградська область, Львівська область, Одеська область, Тернопільська область, Хмельницька область. Проведення будівельних робіт в регіонах з підвищеною сейсмічною небезпекою повинне проводитись у відповідності до будівельних норм и правил ДБН В.1.1 - 12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України».

У сейсмічно неспокійних регіонах особливу небезпеку становлять: а) старий житловий фонд; б) стан гребель і гідротехнічних споруд ГЕС; в) шламонакопичувачі; г) мости; д) трубопроводи; е) промислові підприємства.

**15. Методи захисту несучих конструкцій і трубопроводів від руйнівного впливу землетрусів.**

Підвищення конструкційної стійкості і безпеки будівель, мостів і трубопроводів до руйнівної дії сейсмічних хвиль можна забезпечити:

- а) за рахунок підвищення пластичності міжблокового зчленування;
- б) за рахунок спеціальних демпферів - пристроїв, які поглинають енергію сейсмічних хвиль;
- в) на пухких ґрунтах - за рахунок встановлення глибоких опор до кристалічного фундаменту + за рахунок просочення підстелюючих порід штучними склеюючими масами (рідке скло, бетон і ін.);
- г) за рахунок використання сейсмічних радіозаглушок на газо- і нафтопроводах.



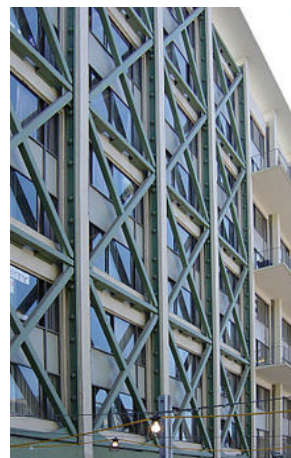
Інерційний демпфер у висотній будівлі Тайпей. Інерційний демпфер (пристрій, що гасить коливання) - це масивний бетонний блок, встановлений у висотній будівлі. Під дією сейсмічних хвиль цей блок, за допомогою спеціального механізму, коливається з певною частотою, що в цілому, дозволяє гасити коливання висотної будівлі. Інерційний демпфер хмарочоса Тайпей 101 обладнаний двома маятниковими підвісками, на 92-му і 88-му поверхах, що важать по 660 тонн кожна.



Таїреї 101, другий за висотою в світі хмарочос, обладнаний інерційними демпферами.



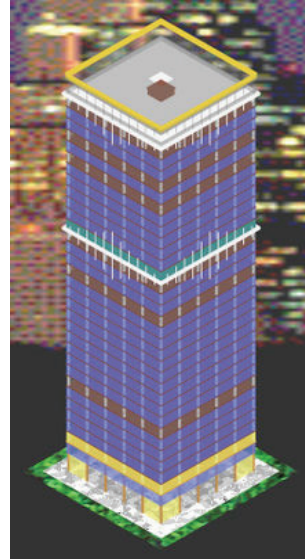
Модель 18-поверхової будівлі на сейсмопротекторі.



Зовнішня антисейсмічна сталева ферма спального корпусу університету Берклі.



Пірамідальна висотна будівля Transamerica Pyramid в Сан-Франциско, Каліфорнія. Демпфування вертикальною конфігурацією (створення пірамідальних споруд) - пірамідна конструкція висотної будівлі забезпечує розсіювання сейсмічних хвиль, які проникли в будівлю, що запобігає виникненню резонансу і обваленню конструкції.



Висотна будівля з багаточастотним заспокоювачем коливань. Багаточастотний заспокоювач коливань включає в себе ряд міжповерхових діафрагм, які обрамлені набором виступаючих консолей з різними періодами власних коливань, що дозволяє їм в цілому гасити коливання висотної будівлі.

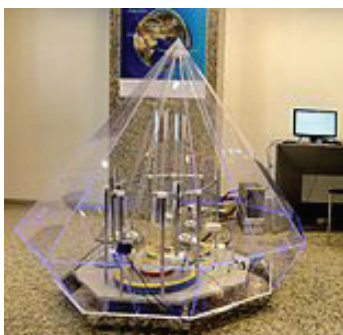
## **16. Глобальна мережа прогнозування землетрусів (GNFE) (за матеріалами Вікіпедії).**

Глобальна мережа прогнозування землетрусів (GNFE) створена в 2008 році в рамках Міжнародної програми - Угоди про співробітництво в галузі прогнозування землетрусів ICERP (International Cooperation for Earthquake Prediction), підписаної МАН (Здоров'я та Екологія) з урядами ряду країн і міжнародними організаціями, зокрема, з урядом Тіролю (Інсбрук, Австрія), Пакистану (підписано президентом Пакистанської академії наук, радником з науки і технології державної комісії з планування в статусі державного міністра Ішфагом Ахмадом, Ісламабад), Індонезії (підписано Його Королівською Величністю Султаном і Губернатором Спеціальної Провінції Індонезії Джокьякарти Хаменгку Бувоно десятим), Азербайджану (підписана Головою Експертної Ради ВАК при Президентові Азербайджану, Генеральним Директором НДІ Прогнозування та вивчення землетрусів Е.Н.Халіловим), Всесвітньою Організацією з Наукового Співробітництва WOSCO (підписано Віце-Президентом WOSCO, доктором Алленом Сімпсоном, Лондон, Англія), корпорацією EIC (Лондон, Англія). Міжнародні угоди про співробітництво з GNFE були підписані з Казахстаном (НПК Прогноз, МНС, Казахстан) і Узбекистаном (Інститут Сейсмології Національної Академії Наук, Узбекистан), науково-технічними компаніями SETAC (Стамбул, Туреччина) і FATE (Прага, Чехія).

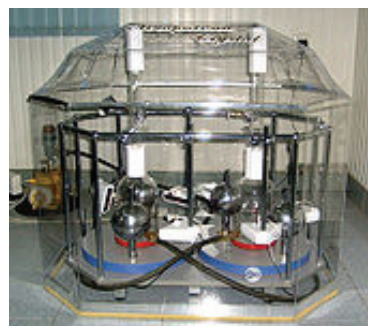
Ставлення ряду вчених до проблеми прогнозування землетрусів є вельми неоднозначним. В даний час світове наукове співтовариство, розчароване багаторічним «застоєм» в розвитку нових технологій прогнозування землетрусів, розділилося на «скептиків» і «оптимістів». Основна позиція «скептиків» - неможливо короткостроково прогнозувати землетруси, так як багаторічні дослідження в цій області не увінчалися успіхом. Позиція ж «оптимістів» ґрунтується на діалектичному розумінні еволюційного наукового розвитку, в якому, можливе «вчора», стає очевидним «сьогодні», завдяки відкриттю нових законів природи, нових знань і технологій. У 2003 році був відкритий принципово новий фізичний ефект тривимірної зміни гравітаційного поля перед сильними землетрусами, на величезних відстанях від епіцентру землетрусів (від 1000 км до 10000 км).

Цей ефект був покладений в основу принципово нового фізичного інструменту - торсіонного детектора тривимірних гравітаційних варіацій, на який був виданий патент (Патент РСТ: International Patent, РСТ, WO 2005/003818 A1, Geneva, 13/01/2005).

На основі зазначеного детектора була розроблена і виготовлена станція прогнозування АТРОПАТЕНА, яка автоматично і автономно реєструє тривимірні зміни гравітаційного поля і передає цю інформацію до Центральної Базы Даних, розміщеній в США (La Habra). З 2007 року, після початку роботи першої станції АТРОПАТЕНА-AZ, короткострокові прогнози землетрусів регулярно надходили до Президії МАН (Міжнародна Академія Наук (Здоров'я та Екологія)), Австрія, Інсбрук), в Пакистанську Академію Наук (Ісламабад, Пакистан) і Університет Гаджі Мада (Джокьякарта, Індонезія). У 2009 році Глобальна Мережа прогнозування землетрусів почала повноцінно функціонувати в режимі короткострокового прогнозування землетрусів і оперативної передачі цієї інформації країнам-учасникам Глобальної Мережі. Цей факт був широко висвітлений в міжнародній пресі. Поряд з країнами, що беруть участь в роботі Глобальної Мережі (Австрія, США, Індонезія, Пакистан, Азербайджан), в якості асоціативних партнерів виступили організації ряду країн: Туреччина (SETAC, VisioTek), Казахстан (НПК Прогноз), Узбекистан (Інститут Сейсмології).



Міжнародна станція по прогнозуванню землетрусів Atropatena Crystal (Kh11) - технологічний бренд (Азербайджан).



Міжнародна станція по прогнозуванню землетрусів Atropatena Crystal (Kh10) - (Азербайджан).



Міжнародна станція по прогнозуванню землетрусів Atropatena-Pk (Пакистан).



Міжнародна станція по прогнозуванню землетрусів ATROPATENA-ID (Джокьякарта, Індонезія).

### **Контрольні питання:**

1. Поняття напруженості гірських порід. Типи напружень в гірських породах.
2. Акустичні, електромагнітні, радіоактивні, теплові та фотографічні методи оцінки напружень в гірських породах.
3. Ендогенні, екзогенні та космічні джерела полів напруження гірських порід.
4. Причини виникнення тектонічних землетрусів та гірських ударів.
5. Фактори, від яких залежить сила сейсмічного повштоху та ступінь руйнування будівель при сейсмічному повштоху.
6. Принцип роботи сейсмографа. Типи сейсмічних хвиль, які виникають під час землетрусу. Магнітуда землетрусу. Розрахунки локальних магнітуд Ріхтера. Типи магнітудних шкал.
7. Будівництво на сейсмонебезпечних територіях.
8. Методи захисту несучих конструкцій від руйнівної дії сейсмічних хвиль.

### **Література:**

1. <http://festival.1september.ru/articles/101627>.
2. Васильева Д.П. Ландшафтная география Марий Эл, 1979 г., Йошкар-Ола, (с.11).
3. Землетрясения // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах (82 т. и 4 доп.). - СПб., 1890 -1907.
4. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация // М.: Наука, 2006, 254 с.
5. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 312 с.
6. Болт Б.А. Землетрясения. М.: Мир, 1981. 256 с.
7. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сеймотектонических деформаций. - М.: Наука, 1990. 191 с.
8. Мячкин В.И. Процессы подготовки землетрясения. М.: Наука, 1978. 232 с.
9. Землетрясения в СССР. М.: Наука, 1990. 323 с.
10. Мого К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
11. Зубков С.И. Предвестники землетрясений. // М.: ОИФЗ РАН. 2002, 140 с.
12. Рихтер Г.Ф. Элементарная сейсмология. М., 1963.
13. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. М., 1975.
14. Оползни. Исследование и укрепление. М., 1981
15. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Простые оползни: Аспекты классификации. Кишинев: Штиинца, 1987. - 161 с.
16. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Сложные оползни: Аспекты классификации. Кишинев: Штиинца, 1988. - 226 с.
17. Будівництво у сейсмічних районах України. ДБН В.1.1 – 12:2014. Київ. Мінрегіон України. 2014. – 118 с.

### Лекція 3

#### Тема: Напруження розтягнення в гірських породах, розташованих на схилах. Зсуви.

1% земної кори знаходиться в стані напруження розтягнення. Це - породи на схилах, а також породи, які знаходяться над порожнинами в надрах землі (природними або штучними).

#### 1. Причини розвитку зсувів і обвалів.

Гірські породи, які утворюють схили, через дію сили тяжіння, підлягають напруженням розтягнення. Якщо це напруження є більшим, ніж міцність породи, то в гірській породі відбувається розрив і вона переміщається по схилу. При зсувах - відбувається сповзання масиву гірської породи по схилу без перемішування його шарів. При обвалах - масив гірської породи переміщається по схилу шляхом кочення, перевертання і розколювання на частини. Тип руху гірських порід по схилу залежить від крутизни схилу і складу гірських порід. Зсуви, як правило, розвиваються на схилах, кут нахилу яких перевищує  $10^0 - 15^0$  для звичайних порід і  $5^0 - 7^0$  для глинистих порід, а обвали розвиваються на схилах, крутизна яких перевищує  $60^0$ . Крім того, до зсувів схильні в основному осадові породи, тоді як до обвалів - магматичні і метаморфічні породи.

На сьогоднішній день - зсуви займають 7 місце за небезпекою серед стихійних лих, оскільки зсуви і обвали призводять: до загибелі людей (щорічно вони забирають життя 800 - 1000 людей в світі); до руйнування будівель; до пошкодження комунікацій, доріг, трубопроводів, електро- і телефонних кабелів і т.н. Серед найбільш катастрофічних - відомий зсув 1920 р., який відбувся в Китаї в провінції Ганьсу: в результаті сповзання гігантського зсуву з лесових терас загинуло понад 100 тисяч осіб. У стародавніх слов'янських літописах також неодноразово згадуються зсуви: «... і Божим повелінням, через гріхи наші, оползла гора зверху над слободою і засипало в слободі сто п'ятдесят дворів і з людьми, і з усякою худобою ...» (початок 15 ст., Нижній Новгород).



У Тайвані зсув зійшов на швидкісне шосе.



Зсув. Липень 2010 р. Івано-Франківська область.

#### 2. Фактори, які є зовнішнім поштовхом для розвитку зсувів.

Основна причина розвитку зсувів - перевищення напружень розтягнення міцності порід. Зовнішнім поштовхом для розвитку зсувів є:

а) замерзання / відтавання гірських порід - призводить до появи в породах тріщин і знижує їх міцність;

б) перезволоження порід (наприклад, через сильний дощ, танення снігу на схилах, через підмивання схилу поверхневими водами, через підтоплення територій і т.н.). Перезволоження порід зменшує міцність зчеплення частинок породи між собою, оскільки при перезволоженні навколо кожної мікрочастинки породи формується гідратна оболонка, яка дуже міцно утримується на частинках породи; при цьому сусідні частинки породи



виявляються пов'язаними між собою тільки гідратною оболонкою і починають ковзати одна відносно одної під дією сили тяжіння;

Наприклад, в 2007 році в Інкермані під Севастополем протягом місяця через аварію на трубопроводі територія Інкерманської ТЕЦ була підтоплена, що і спровокувало запуск найсильнішого зсуву на даній території.

Наприклад, в липні 2008 року в Західній Україні було підтоплено 619 населених пункти та 28 326 га сільськогосподарських угідь через проливні дощі. При цьому перезволоження території призвело до того, що цілі села були «з'їдені» зсувами.

Наприклад, в грудні 2008 року на Філіппінах протягом тижня йшли проливні дощі, в результаті - 22 грудня зійшов зсув, який убив 119 людей.



Катастрофічні зсуви в Бразилії були спровоковані проливними дощами. Загибло понад 500 осіб.



Часто зсуви призводять до загибелі людей.



2 жовтня 2013 р. Зсув на шосе. Тегеран, Іран. За заявами фахівців, під час екскаваційних робіт, що проводилися в цій місцевості, була пошкоджена одна з ліній водопровідної магістралі міста. Витікання води викликало зсув, площа якого на даний момент становить близько 500 квадратних метрів, а його глибина не менше 40 метрів.

в) землетруси і техногенні вібрації в гірських породах (при проведенні будівельних робіт, при русі транспорту і т.н.);

Наприклад, 6 лютого 2012 року на Філіппінах біля берегів острова Негрос було зареєстровано потужний землетрус з магнітудою поштовхів 6,2 бала за шкалою Ріхтера. При цьому підземні поштовхи викликали зсуви в місті Гуіхулган в східній частині острова Негрос. В результаті - понад 30 будинків опинилися похованими під шаром землі.

Наприклад, 25 січня 2012 техногенні вібрації підприємства компанії ExxonMobil з виробництва зрідженого природного газу привели до оползання порід в Папуа Новій Гвінеї. Зсув наклав два села, близько 60 людей загинули, 20 вважаються зниклими без вести.

Наприклад, 25 січня 2012 року в районі Чорноморського міста-курорту Геленджик на автодорогу Прасковеевка - Молоканова зійшов 600-тонний зсув. Причина зсуву порід - вібрації від руху автотранспорту + тривалі дощі та перезволоження порід.

Наприклад, через зсуви Крим щорічно втрачає понад 150 гектарів цінної берегової смуги. Основна причина активізації зсувів - неконтрольована забудова прибережної території. Тільки в Ялті через житлове будівництво за останні роки активізувалися близько 500 зсувів.

Наприклад, в Колумбії 23 листопада 2001 року на золотом руднику Амарола в результаті механічних вібрацій під час відкритого кар'єрного видобутку золота і тривалих проливних дощів сталося сповзання породи, яка поховала під собою понад 200 осіб.

г) підрізування схилу при проведенні будівельних робіт (це підвищує навантаження на схил і зменшує його міцність);

д) зміна типу рослинності на схилах. Наприклад, вирубка лісів на схилах сприяє оползанню схилів, оскільки коріння дерев зміцнюють схилі поверхні і регулюють стік води. Дослідження показали, що активізація зсувів в Закарпатті в останні роки пов'язана не тільки з повеннями, але і з вирубкою лісів.

Наприклад, з Африки в Перу завезли кормову трав'янисту рослину кікуйо для випасу худоби. Ця трава має дуже потужну кореневу систему. Дуже скоро кікуйо корінням почала руйнувати скельні породи схилів. Що привело до початку зсуву міста інків з плато Мачу-Пікчу.

### 3. Типи зсувів.

А) По впливу на гірські породи, що лежать нижче по схилу, зсуви діляться на:

- детрузивні (ці зсуви «штовхають» перед своїм нижнім кінцем пластичні гірські породи);
- деляпсивні (ці зсуви вільно зісковзують по схилу).



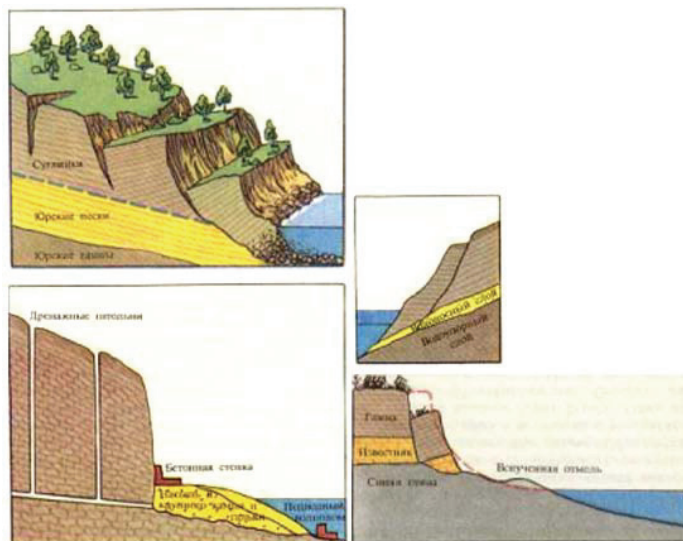
Поздовжній розріз зсуву.

Б) За структурою гірських порід, що складають схили, зсуви діляться на наступні види: зсуви в однорідних породах; зсуви по площинах нашарування різних порід; зсуви з перетином площин різних порід.

В) За часом, протягом якого відбувається процес зсуву, виділяють зсуви:

- разові;
- періодичні (тобто гірська порода повзе періодично). Наприклад, в Криму багато населених пунктів стоять на зсувах, які повзуть з періодичністю 50 - 60 років, тобто після зупинки зсуву він заростає рослинністю, на його території зводяться будинки, і потім років через 50 цей зсув прокидається і знову починає повзти);
- постійні. Наприклад, в Каліфорнії близько бухти Порт'югіз-Бенд після початкового зсуву приблизно на 10 метрів, що стався в 1956 році, триває безперервне сповзання ділянки поверхні площею 2 - 3 км<sup>2</sup> зі швидкістю кілька метрів на рік (2 - 3 м/рік). Фахівці досліджували причину цього руху і встановили, що заходи, за допомогою яких можна зупинити зсув, зажадають витрати близько 10 мільйонів доларів. Місцева влада не вважає за

потрібне витратити такі гроші на зміцнення цього непромислового району. Тому, зсув Портьюгіз-Бенд продовжує повзти і по сьогоднішній день.



Схеми розвитку зсуву при різній структурі гірських порід, що складають схили.

Г) За швидкістю зміщення гірських порід виділяють:

- повільні зміщення (волочиння): швидкість зсуву порід становить кілька десятків сантиметрів на рік (см/рік); таке зміщення визначають по викривленим стовбурам дерев, що ростуть на схилі, по вигинанню поверхні схилу, за показниками спеціальних приладів, тощо);

- зміщення середньої швидкості: відбуваються зі швидкістю декілька метрів за годину або кілька метрів на добу (м/год; м/добу), це - швидкість більшості типових зсувів;

- швидкі (катастрофічні) зміщення: відбуваються зі швидкістю кілька десятків кілометрів на годину (км/год). При катастрофічних зсувах швидкість зсуву порід настільки велика, що евакуація людей не можлива. Наприклад, в 1970 році після землетрусу з гори Невадос-Уа вниз в долину зійшов зсув зі швидкістю 240 км/год. Під цим зсувом загинуло місто з населенням 25 тисяч чоловік.



Катастрофічний зсув.

Д) Залежно від присутності води, зсуви діляться на: сухі, слабо вологі, вологі, дуже вологі. Сухі зсуви часто є причиною розвитку пожеж на території зсуву, оскільки при зміщенні великих мас гірської породи енергія тертя перетворюється в теплову енергію, що призводить до займання. Наприклад, в серпні 2004 року, близько Санта-Барбари в Каліфорнії (США) лісові пожежі були спровоковані потужним сухим зсувом. Подальші дослідження показали, що температура каменів в обвалі досягала + 300<sup>0</sup>С, що спровокувало займання. В даному випадку причина нагрівання виявилася хімічною, оскільки під час зсуву на поверхню вийшов мінерал пірит (сірчаний колчедан, FeS<sub>2</sub>). У присутності кисню повітря відбулося

окислення піриту, а енергія хімічної реакції окислення, що виділилася при цьому, призвела до нагрівання гірських порід і займання прилеглому шару низькосортного вугілля.

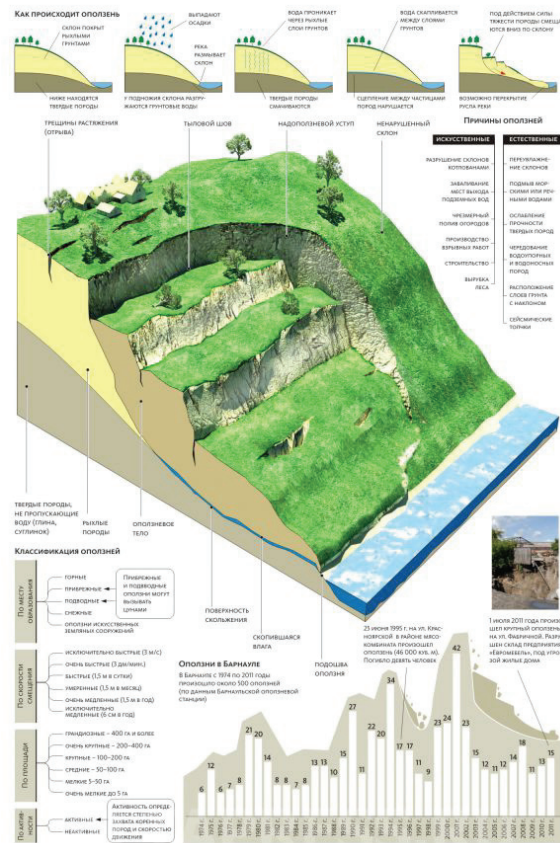


Схема гідрологічного зсуву, спровокованого ґрунтовими водами.

Е) За місцем утворення зсуви поділяються на: гірські / рівнинні; наземні / підводні; зсуви природних схилів / зсув шахтних териконів.

Наприклад, 26 липня 2007 року в Ясинуватському районі Донецької області з терикону шахти ім. Засядька зійшов зсув, якиц засипав від 5 до 8 гектарів лісових насаджень.

Наприклад, 21 жовтня 1966 року в Уельсі, Великобританія, зсув з шахтного терикону накрив школу. 116 дітей та 28 вчителів - загинули...

Солифлюкція - це сповзання підталих гірських порід по мерзлій підстелюючій гірській породі.

Ж) За потужністю зсуви можуть бути: малі, середні, великі і дуже великі.

Потужність зсуву - це обсяг порід, що зміщуються при зсуві (може складати від декількох сотень кубічних метрів до 1 мільйона кубічних метрів!!!). Тобто 100 м<sup>3</sup> малий зсув - 1 млн. м<sup>3</sup> дуже великий зсув.

### 5. Захист від зсувів.

З 1999 року в Україні діє протиповзнева програма. Однак, останніми роками вона практично не фінансується. Все зсуви враховуються і реєструються. Створено кадастри зсувів. Наприклад, в Криму цей кадастр налічує близько 1500 зсувів.

Геологічний прогноз зсувної небезпеки схилів дається на підставі аналізу:

- 1) складу гірських порід (пухкі осадові породи зсуваються швидше, ніж щільні магматичні або метаморфічні);
- 2) оцінки крутизни схилу;
- 3) наявності поверхневих і підземних вод;
- 4) наявності тектонічних рухів або технічних вібрацій;
- 5) експедиційного виявлення видимих ознак активності зсувних процесів.

На основі установ гідрометеослужби - базуються служби спостереження і прогнозування зсувів. Спостереження за зсувами здійснюють спеціалізовані зсувні станції і пости. Ці служби контролюють переміщення ґрунту, зміни рівня води в колодязях, дренажних спорудах і в свердловинах, виявляють появу і поширення тріщин і т.н. На підставі отриманих даних надаються довгострокові (багаторічні), короткострокові (на кілька місяців) і екстрені (на кілька годин) прогнози зсувних і обвальних рухів порід.

Якщо людина опинилася на поверхні, що зсувається, - то вона повинна пересуватися по можливості вгору по зсуву. Крім того, необхідно пам'ятати, що при різкій зупинці зсуву відбувається сильний поштовх, а це - небезпечно.

Захист від зсуву:

- А) не допускати перевантаження верхньої частини зсуву;
- Б) не підрізати схил при будівництві господарських об'єктів;
- В) біля підніжжя схилів - будувати опорні стінки;
- Г) відводити ґрунтові та поверхневі води зі схилу (дренаж);
- Д) проводити анкерне кріплення схилів;
- Е) ін'єктувати зміцнюючий розчини в породи схилу (рідке скло, цементні розчини тощо);
- Ж) фіксувати схили за допомогою паль;
- З) висаджувати на схилах дерева;
- І) в містах проводити очистку зливових каналізацій;
- К) не допускати підтоплення територій.

Ознака загрози зсуву: 1) двері та вікна в будинках перестають закриватися; 2) на поверхні землі, тротуарів і схилів - з'являються тріщини; 3) під підставою схилів з'являється горбистість землі; 3) в контрольних колодязях різко змінюється рівень води.

**Контрольні питання:**

1. Поняття «зсув» та «обвал».
2. Зовнішні та внутрішні причини розвитку зсувних та обвальних процесів.
3. Типи зсувів за часом їх розвитку та за швидкістю зміщення порід.
4. Типи зсувів в залежності від присутності води.
5. Методи прогнозу зсувів.
6. Методи захисту від зсувів.

**Література:**

1. Методические рекомендации по предотвращению оползней на автомобильных дорогах Таджикской ССР. М. 1977. 36 с. <http://www.docnorma.ru/normadoc/48/48058/index.htm#i133719>
2. Строительные нормы и правила. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. (СНиП-2.01.15-90).
3. Беспалова Е.Н. Влияние атмосферных осадков на развитие оползневого процесса в Среднем Приднепровье / Е.Н. Беспалова // Геологический журнал. – 2003. – № 2. – С. 103–106.
4. Гулакян К.А. Прогнозирование оползневых процессов / К.А. Гулакян, В.В. Кюнцель, Г.П. Постоев. – М.: Недра, 1977. – 135 с.
5. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов / Е.П. Емельянова. – М.: Недра, 1972. – 308 с.
6. Исследование динамики смещений на естественных склонах в регионе Днепропетровска: отчет о НДР (заключ.) / Днепрпетр. горн. ин-т; науч. рук. А.И. Осецкий; исполн.: П.Е. Курочкин, А.Г. Бондарук, А.И. Погорелов, В.А. Рябчий, А.В. Зуска [и др.]. – Д., 1993. – 152 с. – № ДР 0188u028880.
7. Лужецкий А.Н. Изучение оползней на Украине / А.Н. Лужецкий, Л.С. Николаенко // Вопросы инженерной геодинамики. – Ташкент, 1978. – № 4. – С. 27–31.
8. Шеко А.И. Изучение режима оползневых процессов / А.И. Шеко, Г.П. Постоев, В.В. Кюнцель. – М.: Недра, 1982. – 255 с.
9. Шеко А.И. Современные геологические процессы на Черноморском побережье / А.И. Шеко. – М.: Недра, 1976. – 184 с.

## Лекція 4

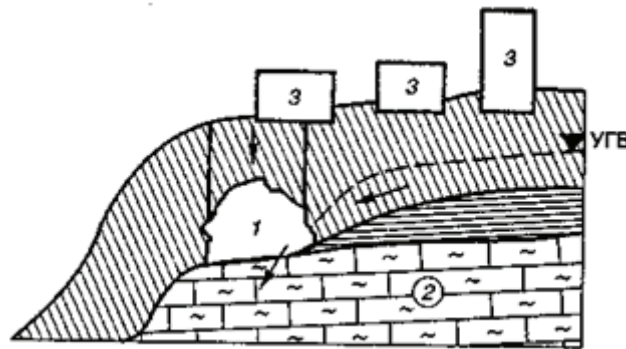
### Тема: Напруження розтягнення в гірських породах, розташованих над порожнинами в надрах Землі. Суфозії. Карст.

Гірські породи, розташовані над порожнинами в земній корі, також піддаються напруженням розтягнення, як і породи, що знаходяться на схилових поверхнях. Порожнечі в надрах Землі можуть мати як природне, так і техногенне походження. До природних порожнин відносяться, зокрема, суфозійні і карстові утворення. До техногенних порожнин - штреки і штольні шахт, підземні паркінги автомобілів, підземні сховища, тунелі метрополітену і т.н.

Як вже зазначалося вище, якщо напруження розтягнення в гірській породі перевищує міцність породи, то в гірській породі відбувається розрив, що призводить на схилах - до обвалів або до оползання порід, а на горизонтальних поверхнях над пустотами - до провалювання ділянок земної поверхні.

#### 1. Суфозії.

Суфозійний процес - це процес механічного вимивання частинок гірської породи поверхневими і підземними водами. Вимивання частинок породи підземними водами з часом призводить до формування підземних порожнин. До суфозій схильні леси, лесовидні суглинки і інші пилуваті породи - тобто породи, що складаються з дрібних частинок.



Суфозійна порожнина (1) в лесових породах, що залягають на схилі рельєфу, складеному вапняками (2); 3 - будівлі (за «Інженерна геологія»).

В Україні від суфозій особливо страждає південний регіон, території якого в значній мірі складені лесами. Так, в м. Херсоні через зливові дощі і погану міську систему відводу дощових вод відбуваються суфозійні просадки доріг і будівель міста. У м.Херсоні свого часу не змогли побудувати Палац піонерів за міською бібліотекою на набережній р. Дніпро, оскільки вбивання 25 метрових будівельних паль призводило до їх провалювання в суфозійні порожнечі.

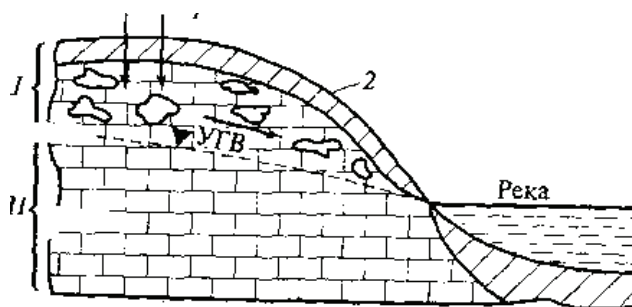


Суфозійний провал поверхні.

\***Суфозія** (від лат. *suffosio* - підкопування) - винос дрібних мінеральних часток породи водою, що фільтрується через неї. Процес близький до карсту, але який відрізняється від нього тим, що суфозія є переважно фізичним процесом і частки породи не зазнають подальшого руйнування. Одна з характеристик розмиваємості ґрунтів. Суфозія призводить до просідання вищерозміщених товщ і утворення западин (суфозійних воронок, блюдць, западин) діаметром до 10 і навіть 100 метрів, а також печер. Іншим наслідком може бути зміна гранулометричного складу як порід, що підлягають суфозії, так і порід, які є фільтром для винесеного матеріалу. Найбільш широкий розвиток суфозія отримує в області поширення лесів і лесовидних суглинків, під схилами долин річок, часто по ходах ріючих тварин. Однією з необхідних умов суфозії є наявність в породі як великих часток, що утворюють нерухомий каркас, так і дрібних часток, які вимиваються. Винос починається лише з певних значень напору води, нижче яких відбувається тільки фільтрація. У карбонатних і гіпсоносних піщано-глинистих відкладеннях і мергелях карст і суфозія можуть проявлятися одночасно. Це явище носить назву глинистий карст або глинистий псевдокарст (за <http://ru.wikipedia.org/wiki/>).

## 2. Карст.

Карстовий процес - це процес хімічного розчинення і подальшого вимивання гірської породи. Карстові процеси можуть протікати як на поверхні, так і в глибині гірських порід. Глибинні карстові процеси з часом призводять до появи порожнин в гірських породах і до подальшого просідання поверхні землі в порожнини, що утворилися. Наприклад, у м. Одесі через карстові процесів в 1997 р. відбулося провалювання частини вулиці Радянської Армії біля залізничного вокзалу (вул. Преображенська).



Зона карстового масиву у вапняку. Де: УГВ - рівень ґрунтових вод (за «Інженерна геологія»). I - зона карстоутворення; II - зона цементації (розташована нижче рівня ґрунтових вод; в цій зоні відбувається випадання солей з розчину, що призводить до цементації порушень в вапняках); 1 - атмосферні води; 2 - суглинки.

Карст найчастіше проявляється в місцях неглибокого залягання легкорозчинних порід: вапняків, гіпсів, доломітів, мергелів, крейди, кам'яної солі та ін. Найбільш швидко карст формується в гіпсових породах і в кам'яній солі.



Карстові Пінежські печери.



Кунгурзькі карстові печери. Пермська область.

Карстові породи часто зверху прикриті водонепроникними або слабководопроникними породами (наприклад, глинистими відкладеннями). В таких умовах карст розвивається повільно або взагалі не спостерігається. При розриванні виїмок для доріг, каналів, фундаментів будівель і т.п., захисний покрив знищується і починається інтенсивний карстовий процес. В Україні карстові явища поширені в Кримських горах, в Карпатах, в Львівській і Тернопільській областях.

З одного боку, карстові печери - це одне з чудес світу (див. рис). Однак, з іншого боку, карстові процеси знижують міцність підстелюючих гірських порід, що призводить до провалювання під землю як природних, так і техногенних територій (див. рис.).



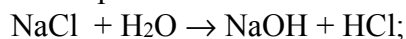
Карстовий провал. Лісостеп. Україна.



Карстовий провал на території міста.

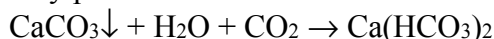
#### Хімізм карстоутворення:

а) розчинення гірських порід власне поверхневими або підземними водами; наприклад, так відбувається розчинення кам'яної солі (NaCl):



б) багато гірських порід не розчинні в чистій воді, проте легко переходять в розчинений стан, якщо у воді присутні розчини солей або вуглекислого газу;

Наприклад, вапняк ( $\text{CaCO}_3\downarrow$ ) не розчинний в чистій воді, проте в присутності вуглекислого газу розчиняється:



Наприклад, доломіт ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3\downarrow$ ) не розчинний в чистій воді, але якщо у воді присутні солі, наприклад, хлорид натрію (NaCl), тоді розчинення доломіту відбувається досить швидко:



\*NB! Аналогічним чином різко зростає розчинність ангідриду і гіпсу ( $\text{CaSO}_4\downarrow$ ) в воді, яка містить розчин хлориду натрію.

Явище корозії змішування (відкрито радянськими вченими О.М. Бунеевим (1932) і Ф.Ф. Лаптевим (1939): при змішуванні підземних вод з різним хімічним складом - їх хімічна агресивність по відношенню до гірських порід різко зростає. Більше того, навіть при змішуванні двох неагресивних вод - їх суміш виявляється агресивною.

Вплив температури навколишнього середовища на швидкість карстоутворення. Згідно правила Вант-Гоффа: при підвищенні температури навколишнього середовища на кожні



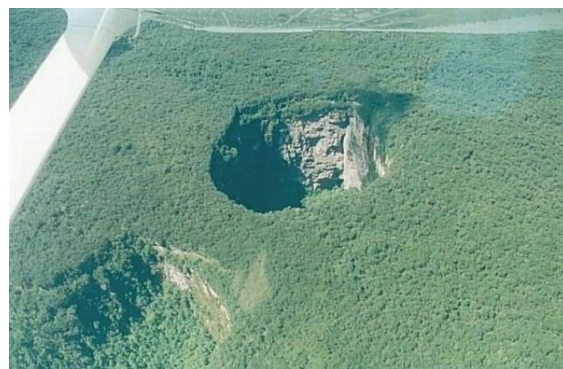
10<sup>0</sup>С, швидкість протікання хімічних реакцій збільшується в 2 - 3 рази. Тому, чим вище температура підземних і поверхневих вод, тим більше швидкість карстоутворення. Проведені дослідження показали, що в напрямку від приполярних областей до екваторіальних - швидкість карстоутворення збільшується в 4 рази.

\*NB! При +5<sup>0</sup>С і при +22<sup>0</sup>С різниця в парціальному тиску CO<sub>2</sub> у воді не значна, тобто таке підвищення температури не призводить до істотного зниження розчинності CO<sub>2</sub> у воді. А, як відомо, CO<sub>2</sub> - це найважливіший стимулятор карстових процесів в карбонатних породах.

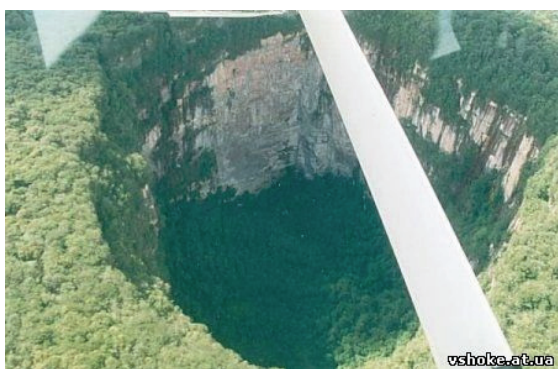
**Термокарст** – це утворення підземних порожнин і просідання гірських порід через танення вічної мерзлоти. У товщі порід витає похований лід або відбувається просто танення мерзлого ґрунту і подальше осідання верхніх шарів гірських порід. В цілому, за механізмом утворення порожнин в гірських породах, даний процес не може бути віднесений до карстових. Таким чином, в даному випадку, назва процесу не є коректною.



Провали поверхні землі. Пермська область.



Провали поверхні землі в лісовому районі.



Провал природньої поверхні разом з лісом.



Провал поверхні землі на сільськогосподарському полі.

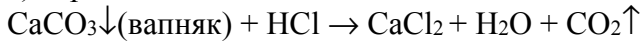
### **3. Причини посилення карстових і суфозійних явищ в сучасних умовах.**

Геологи відзначають, що в сучасних умовах - відбувається посилення як карстових, так і суфозійних процесів.

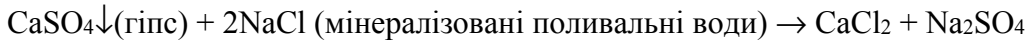
Причини посилення карстових і суфозійних процесів в сучасних умовах:

1) Підвищення агресивності підземних вод:

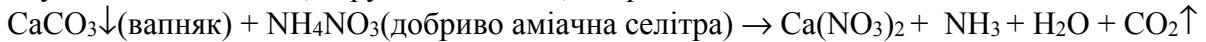
а) через випадіння кислотних дощів:



б) через просочування під землю високомінералізованих поливальних вод при штучному зрошенні території:



в) через просочування під землю дощових або талих вод, забруднених промисловими і побутовими відходами, отрутохімікатами, добривами:



2) Підвищення температури навколишнього середовища (прискорює перебіг карстових і термокарстових процесів). NB! Згідно правила Вант-Гоффа: швидкість протікання хімічної реакції зростає в 2-3 рази при підвищенні температури на кожні 10<sup>0</sup>С. Причини підвищення температури навколишнього середовища в сучасних умовах:

а) глобальне підвищення температур в рамках природних кліматичних квазіциклів (зокрема, сучасна нам геологічна епоха Голоцен - є інтергляціальною епохою);

б) локальне підвищення температур (наприклад, в містах температура на +1<sup>0</sup>С +2<sup>0</sup>С вище, ніж в навколишніх природних екосистемах; під трубопроводами тепломагістралей температура вище, ніж у навколишньому середовищі і т.н.).

3) Проведення будівельних робіт, в ході яких порушується цілісність водотривкого горизонту, що призводить до просочування поверхневих вод або підземних вод верхнього шару в породи, які піддаються карстовим і суфозійним процесам.

4) Господарське зміна водного режиму території (заміна водно-застійного або аридного гідрохімічного режиму на промивний режим).

Наприклад, надмірне зрошення посушливих територій призводить до заміни аридного режиму на промивний і провокує розвиток карстових і суфозійних процесів на територіях, раніше не схильних до інтенсивних екзогенних процесів. Так, внаслідок нераціонального зрошення земель, на півдні України в останні роки сформувалася велика кількість карстових і суфозійних форм рельєфу, що зробило непридатними для обробки значні площі цінних родючих земель.

Наприклад, в ході забудови нових мікрорайонів у м. Москва було проведено осушення значних площ з водозастійним гідрохімічним режимом. Однак, дренажний відвід підземних вод призвів до того, що замість водозастійного режиму - на значній території сформувався промивний гідрохімічний режим внаслідок просочування під землю дощових і талих поверхневих вод. А зміна гідрохімічного режиму спровокувала інтенсивне формування підземних порожнин і провалювання новобудов в ці порожнини. Так, за останні 25 років утворилися 42 провальні воронки, при цьому було зруйновано три житлових будинки.

5) Техногенне посилення вібрацій в підстелюючих гірських породах (при прокачуванні нафти, газу і води по трубопроводах, при русі транспорту по авто- і залізничних магістралях, при проведенні будівельних робіт, під час роботи технологічного устаткування і т.н.). Вібрації в підстелюючих породах викликають накопичення в породах деформацій втоми, що призводить до зниження міцності даних порід до вимивання і розчинення підземними та поверхневими водами.

Зокрема, статистичний аналіз свідчить про те, що найчастіше підземні порожнини - карстові і суфозійні - формуються в гірських породах, які підлягають навантаженням вібрації (природного або техногенного характеру).



У китайському місті Гуанчжоу під землю провалилися чотири будинки. Причина - будівництво під будинками метрополітену.



На місці будівлі в Гватемалі залишилася воронка

...



Провал частини залізничного полотна в порожнину під затопленими рудниками підприємства «Уралкалій».



Провал підстелюючої поверхні в зоні розташування затоплених рудників підприємства «Уралкалій».



Провал підстелюючої поверхні в зоні розташування затоплених рудників підприємства «Уралкалій».



#### **4. Оцінка рівня небезпеки територій за розвитком карстових і суфозійних процесів.**

Оцінка рівня поширеності суфозійних процесів на конкретній території проводиться на підставі аналізу показника відсотка поширеності суфозійних процесів:

$$\% \text{ Суфозійних територій} = \frac{\text{Площа поширення суфозій на території} \cdot 100\%}{\text{Площа території}}$$

Проведені дослідження показали, що в Україні відсоток суфозійних територій, в середньому, становить 44,3% (див. табл. 1).

Таблиця 1. Поширеність суфозійних процесів на території України

№	Адміністративне утворення:	Площа, тис.км <sup>2</sup>	Площа поширення ґрунтів, схильних до суфозійних просідань, тис.км <sup>2</sup>	% Суфозійних територій (територій з суфозійними просадками)
1	АР Крим	27,0	3,54	13,1 %
2	Вінницька область	26,5	19,63	74,1 %
3	Волинська область	20,2	2,92	14,5 %
4	Дніпропетровська область	31,9	22,28	69,8 %
5	Донецька область	26,5	9,37	35,4 %
6	Житомирська область	29,9	4,49	15,0 %
7	Закарпатська область	12,8	0,00	-
8	Запорізька область	27,2	17,84	65,6 %
9	Івано-Франківська область	13,9	1,70	12,2 %
10	Київська область	28,9	12,46	43,1 %
11	Кіровоградська область	24,6	20,33	82,6 %
12	Луганська область	26,7	4,38	16,4 %
13	Львівська область	21,8	2,06	9,4 %
14	Миколаївська область	24,6	9,33	37,9 %
15	Одеська область	33,3	13,92	41,8 %
16	Полтавська область	28,8	16,55	57,5 %
17	Рівенська область	20,1	4,01	20,0 %
18	Сумська область	23,8	7,87	33,1 %
19	Тернопільська область	13,8	9,38	68,0 %
20	Харківська область	31,4	20,84	66,4 %
21	Херсонська область	28,5	17,60	61,8 %
22	Хмельницька область	20,6	14,83	72,0 %
23	Черкаська область	20,9	15,07	72,1 %

24	Чернівецька область	8,1	4,35	53,7 %
25	Чернігівська область	31,9	12,41	38,9 %
	<b>Україна</b>	<b>603,7</b>	<b>267,17</b>	<b>44,3 %</b>

Для оцінки можливості проведення будівельних робіт на територіях, уражених суфозійним процесом, проводиться аналіз двох основних параметрів, що характеризують інтенсивність протікання суфозійного процесу: а) встановлюється максимальний лінійний розмір поверхневого суфозійного прояву; б) обчислюється щільність поверхневих суфозійних проявів на даній території:

$$\text{Щільність поверхневих суфозійних проявів} = \frac{\text{Кількість випадків суфозійних провалів}}{\text{Площа території з суфозійним провалюванням поверхні}}$$

І потім, на підставі нормативних даних, наведених у таблиці 2, робиться висновок про можливість (або неможливість) проведення будівельних робіт на даній території.

Максимальний лінійний розмір поверхневого суфозійного проявлення в плані (середня величина), м	Інтенсивність образования поверхностных суфозийных проявлений, случаев в год/км <sup>2</sup>				
	< 0,01	0,01 – 0,05	0,05 – 0,1	0,1 – 1	> 1
	Плотность поверхностных суфозийных проявлений, случаев/км <sup>2</sup>				
	< 1	1 – 5	5 – 50	50 – 100	> 100
< 3	1				
3 – 10		2			
10 – 20			3		
> 20				4	

Таблиця 2. Кількісні критерії оцінки існуючої суфозійної небезпеки для будівництва об'єктів промислового та цивільного призначення: 1 - дуже низька небезпека, не накладає обмежень на будівництво; 2 - низька небезпека, що вимагає незначного подорожчання будівництва; 3 - середня небезпека зі значним подорожчанням будівництва; 4 - висока небезпека, що робить будівництво проблематичним (за Хоменко, 2004).

**\*Негативний вплив суфозій на об'єкти промислового і цивільного будівництва (цитовано за В.П. Хоменко, д-р геол.-минерал. наук, «Промышленное и гражданское строительство», №10, 2004).**

Взаємодія суфозійних процесів з об'єктами промислового і цивільного будівництва нерідко призводить до серйозних збитків і навіть до катастрофічних наслідків. Так, суфозійний зсув, що утворився в 1983 р. в м. Кургані і був спровокований витокami з водогінних комунікацій, викликав руйнування житлового будинку і загибель людей. У 1986 р. в одному з передмість м. Бразилія масове провалоутворення, обумовлене таким небезпечним різновидом суфозії, як підземна ерозія, призвело до руйнування понад 50 житлових будинків і собачого розплідника.

У східних штатах США пов'язана з карстом суфозія викликана експлуатацією підземних вод і супроводжується утворенням провалів, що, починаючи з 1940-х рр. постійно руйнує житлові і промислові будівлі, об'єкти інфраструктури. Тільки в 1980 р. збиток від руйнування товарного складу в м. Росвілл (штат Джорджія) склав 1,4 млн. дол.

Більше 100 будинків в одному з житлових районів Єревана в 1970-х рр. були деформовані в результаті хімічної суфозії, при цьому деякі з них прийшли в аварійний стан і були знесені.

Незважаючи на наведені вище та інші відомі факти, є всі підстави вважати, що основний збиток, обумовлений суфозією, пов'язаний не стільки з великими аваріями і катастрофами, скільки з постійними дрібномасштабними негативними впливами техногенних суфозійних процесів на об'єкти, наприклад з руйнуванням асфальтових покриттів.

Необхідно також відзначити, що суфозія нерідко є побічним результатом застосування заходів щодо захисту від інших екзогенних геологічних процесів. Природно, при цьому знижується ефективність інженерного захисту, і виникають нові непередбачені проблеми. На жаль, досить часто зустрічаються провалоутворення, пов'язані з суфозійним виносом порід в пошкоджені протизсувні дренажні штольні і з підземною ерозією, яка активно розвивається на контакті порід з конструктивними елементами берегозахисних споруд та призводить до їх руйнування. Відзначається також утворення суфозійних порожнин і провалів при замочуванні лесових порід, яке використовується в якості протипросадочних заходів, і формування стійких суфозійних каналів в цементному камені, що заповнює карстові порожнини.

Оцінити суфозійну небезпеку можна на основі інформації про поверхневі прояви суфозії. Для цього цілком прийнятні деякі принципи, що застосовуються в інженерному карстознавстві. В таблиці 2 представлена заснована на одному з таких принципів схема для орієнтовної оцінки суфозійної небезпеки в тих випадках, коли є дані про поверхневі суфозійні прояви. При виборі граничних значень щільності поверхневих суфозійних проявів автор статті, В.П. Хоменко, д-р геол.-мінерал. наук, керувався критеріями, запропонованими для виділення зон екологічної кризи і ризику (цитовано за В.П. Хоменко, д-р геол.-мінерал. наук, «Промышленное и гражданское строительство», №10, 2004).

---

Для оцінки рівня поширеності карстових процесів на певній території, обчислюють ряд показників:

а) загальний відсоток площ, уражених карстовими процесами (%заг):

$$\%_{\text{заг}} = \frac{\text{Площа розповсюдження карсту на даній території}}{\text{Площа даної території}} \cdot 100\%$$

Проведені дослідження виявили дуже високі значення загального відсотка площ, уражених карстовими процесами на території України (див. табл. 3).

б) відсоток площ, потенційно небезпечних за карстом (%потенц):

$$\%_{\text{потенц}} = \frac{\text{Площа покритого карста на даній території}}{\text{Площа даної території, уражена карстом}} \cdot 100\%$$

в) питома інтенсивність провалоутворення:

$$\lambda = \frac{\text{Кількість провалів в рік, штук}}{\text{Площа області, уражена карстом, км}^2}$$

Потім, використовуючи дані таблиці 4 і обчислені значення величин питомої інтенсивності провалоутворення, встановлюють до якої категорії за стійкістю територій до карстоутворення (I-VI) відноситься кожна з обстежуваних територій. На наступному етапі оціночних робіт, використовуючи дані таблиці 5 і встановлені категорії стійкості територій до карстоутворення, роблять висновок про небезпеку розвитку карсту на конкретній території.

\*NB! Слід зазначити, що в ряді випадків, території безпечні по активному карсту (тобто показник  $\lambda$  не небезпечного рівня), виявляються небезпечними по % потенційного розвитку карсту (тобто, % потенційної небезпеки території по карсту є вищим ніж 30%).

Таблиця 3. Поширеність і активність карстових процесів на території України.

Адміністративне утворення:	Площа, тис. км <sup>2</sup>	Площі порід, схильних до карстоутворення, тис. км <sup>2</sup>				Кількість карстових провалів за рік, штук	% <sub>ЗАГ</sub> - загальна ураженість території карстовими процесами: $\frac{Д}{А}$
		Відкритий карст:	Покритий карст:	Перекритий карст:	Всього:		
	А	Б	В	Г	Д	Е	
АР Крим	27,0	2,85	5,38	16,4	24,63	9594	91,2 %
Вінницька область	26,5	1,56	2,73	6,59	10,88	244	41,1 %
Волинська область	20,2	2,49	9,21	8,38	20,08	1529	99,4 %
Дніпропетровська обл.	31,9	-	1,55	16,08	17,63	3	55,3 %
Донецька область	26,5	-	3,19	20,28	23,47	195	88,6 %
Житомирська область	29,9	-	-	0,55	0,55	81	1,8 %
Закарпатська область	12,8	0,128	-	9,422	9,55	19	74,6 %
Запорізька область	27,2	-	-	18,79	18,79	-	69,1 %
Івано-Франківська обл.	13,9	-	2,57	7,72	10,29	1008	74,0 %
Київська область	28,9	-	0,01	18,79	18,80	-	65,1 %
Кіровоградська обл.	24,6	-	0,02	1,10	1,12	-	4,6 %
Луганська область	26,7	-	8,70	17,89	26,59	368	99,6 %
Львівська область	21,8	0,04	7,92	9,83	17,79	5102	81,6 %
Миколаївська область	24,6	-	6,61	12,61	19,22	157	78,1 %
Одеська область	33,3	0,82	3,58	28,25	32,65	112	98,0 %
Полтавська область	28,8	-	-	26,81	26,81	11	93,1 %
Рівенська область	20,1	0,90	9,44	6,85	17,19	745	85,5 %
Сумська область	23,8	-	5,12	18,63	23,75	56	99,8 %
Тернопільська область	13,8	0,47	6,03	7,30	13,80	1371	100 %
Харківська область	31,4	-	4,15	27,19	31,34	11	99,8 %
Херсонська область	28,5	0,37	3,71	22,26	26,34	94	92,4 %
Хмельницька область	20,6	1,64	4,80	11,00	17,44	769	84,7 %
Черкаська область	20,9	-	-	7,37	7,37	-	35,3 %
Чернівецька область	8,1	0,38	0,39	6,39	7,16	314	88,4 %
Чернігівська область	31,9	-	1,47	30,33	31,80	2313	99,7 %

Таблиця 4\*.

Категорії стійкості території відносно інтенсивності утворення карстових провалів:	Інтенсивність провалоутворення (середньорічна кількість провалів на 1 км <sup>2</sup> території (випадки/км <sup>2</sup> в рік):
I	Понад 1,0
II	Від 0,1 до 1,0
III	Від 0,05 до 0,1
IV	Від 0,01 до 0,05
V	До 0,01
VI	Провалоутворення виключається

\*Примітка: До шостої категорії стійкості відносяться території, на яких виникнення карстових провалів земної поверхні неможливо (через відсутність розчинних гірських порід або завдяки наявності надійної захисної покриваючої товщі нерозчинних водонепроникних або скельних порід) (\* за СП 11-105-97).

Таблиця 5\*.

Ступінь карстонебезпечності району:	Відповідні інтервали категорій стійкості за інтенсивністю провалоутворення:
Небезпечна	I - III
Потенційно небезпечна	III - V
Безпечна	V - VI

(\*за ТСН. ТСН 22-308-98).

### **5. Протикарстові і протисуфозійні заходи.**

Породи, в яких можуть протікати карстові і суфозійні процеси, досить поширені. Таким чином, часто доводиться проводити забудову на суфозійно- і карстово-небезпечних територіях.

До заходів, що обмежують поширення карстових і суфозійних процесів відносяться:

- 1) забивання в підстелюючу поверхню залізобетонних буронабивних паль до кристалічних порід;
- 2) цементация карбонатних порід на глибини до 30 м за допомогою зміцнювальних розчинів (цементу, рідкого скла і т.н.);
- 3) асфальтування поверхні для запобігання просочуванню поверхневих вод в глиб землі;
- 4) відведення поверхневих і підземних вод.

### **Контрольні питання:**

1. Суфозія. Гірські породи, які піддаються суфозійним процесам.
2. Карст. Гірські породи, які піддаються карстовим процесам.
3. Хімізм карстоутворення. Явище корозії змішування.
4. Вплив температури навколишнього середовища на швидкість карстоутворення.
5. Вплив механічних вібрацій на швидкість карстоутворення.
6. Термокарст.
7. Причини посилення карстових та суфозійних явищ в сучасних умовах.
8. Оцінка рівня небезпеки територій за розвитком карстових і суфозійних процесів.
9. Протисуфозійні та протикарстові заходи.

### **Література:**

1. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП. Випуск VIII. Київ. 2011. 89 с. [http://geoinf.kiev.ua/SZHORICHNYK\\_2011.pdf](http://geoinf.kiev.ua/SZHORICHNYK_2011.pdf)
2. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов [http://snipov.net/c\\_4620\\_snip\\_100384.html](http://snipov.net/c_4620_snip_100384.html)
3. ТСН. ТСН 22-308-98. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. <http://www.библиотека-норм.рф/doc/41-41752.htm#i222067>.
4. Шарапов Р.В. Показатели наблюдения и оценки карстовых процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2013. № 1. – Р. 28 – 34.
5. Хоменко В.П. Негативные воздействия суффозии на объекты промышленного и гражданского строительства // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. № 10.
6. Вопросы строительного освоения закарстованных территорий / Е.А. Сорочан, Т.М. Троицкий, В.В. Толмачев и др. - Инженерная геология, 1986, № 4, с. 80 - 87.
7. ДБН В.1.1-25:2009 Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування. – Чинні від 01.01.2011 р. – Київ : Мінрегіонбуд, 2010. – 91 с.
8. Кожевникова В.Н. Методика оценки устойчивости закарстованных территорий. - Инженерная геология, 1984, № 2, с. 26 - 40.
9. Толмачёв В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. – М.: Недра. – 1990. – 152 с.
10. Хоменко В.П. Карстово-суффозионные процессы и их прогноз. М., Наука, 1986.



## Лекція 5

### **Тема: Кореляція між процесами вивітрювання гірських порід і руйнуванням будівельних матеріалів, отриманих з природних гірських порід, під дією факторів навколишнього середовища.**

Відомо, що гірські породи підлягають процесам фізичного, хімічного та біологічного вивітрювання. Більшість будівельних матеріалів - це природні гірські породи (вапняк, мрамур, граніт і т.н.) та суміші, отримані на основі природних компонентів (гіпс, бетон і т.н.). Всі будівельні матеріали піддаються процесам фізичного, хімічного і біологічного руйнування, які певним чином є ідентичними процесам фізичного, хімічного та біологічного вивітрювання природних гірських порід. Але, існує також і ряд відмінностей між вивітрюванням гірських порід і руйнуванням будівельних матеріалів у складі несучих конструкцій.

#### **1. Фізичне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між фізичним вивітрюванням гірських порід і фізичним руйнуванням будівельних матеріалів.**

Фізичне руйнування будівельних матеріалів - це руйнування будматеріалів під дією фізичних факторів навколишнього середовища.

а) При підвищенні температури навколишнього середовища відбувається теплове розширення всіх речовин. Оскільки коефіцієнт теплового розширення - різний у різних речовин, то це призводить до того, що на кордоні контакту різних будівельних матеріалів з'являються тріщини. Якщо будівельний камінь складається з різних мінералів - це також прискорює його руйнування, оскільки кожен мінерал має свій коефіцієнт теплового розширення. Наприклад, чим більша кількість різних мінералів входить до складу мрамору - тим швидше руйнується мрамур при перепаді температур.

б) При вологості повітря понад 75% - вода конденсується в тріщинах і капілярах будівельних матеріалів. При замерзанні такої води відбувається збільшення її об'єму і розтріскування будівельного каменю. Необхідно підкреслити, що фізичне руйнування будівельних матеріалів відбувається набагато швидше, ніж вивітрювання природних гірських порід, з яких цей будівельний камінь отриманий. Одна з причин полягає в тому, що взимку, як правило, температура і вологість по різні боки стін - різна (в приміщенні вологість не нижче 8,7 г води на 1 м<sup>3</sup> повітря, а в морозну зиму - не більше 1 г води на 1 м<sup>3</sup> повітря). Це призводить до того, що за градієнтом концентрації вода спрямовується з більш вологих внутрішніх ділянок стіни в більш сухі зовнішні ділянки стіни де і замерзає, викликаючи розтріскування стін.

в) будівельний камінь, встановлений в перезволожений ґрунт, - починає, за законом капілярності, вбирати в себе воду. Так, експериментальні роботи показали, що протягом 1 години всередину цегляної кладки вбирається 11,5 кг води на 1 м<sup>2</sup> кладки. У перерахунку на всю площу фасаду будівлі можливо вбирання декількох тонн води. Така поглинена вода викликає набухання будівельних матеріалів. А оскільки коефіцієнт набухання у різних будівельних матеріалів - різний, то це призводить до розтріскування несучої конструкції.

г) вібрації подстилюючих гірських порід прискорюють появу деформацій втоми в стінах несучих конструкцій.

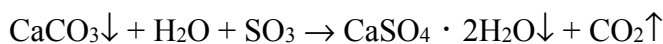
#### **2. Хімічне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між хімічним вивітрюванням гірських порід і хімічним руйнуванням будівельних матеріалів.**

Хімічне руйнування будівельних матеріалів - це руйнування будівельних матеріалів в результаті протікання в них хімічних реакцій.

а) дощові і підземні води, які вбираються в стіни будівлі, несуть розчинені в собі солі і вуглекислоту. Ці водні розчини є агресивними по відношенню до будівельних матеріалів - тобто вступають з ними в хімічні реакції, що призводить до розчинення будматеріалів і до зменшення їх міцності. Найбільше від процесів хімічного руйнування страждають підземні

будови (тунелі, колектори і т.н.) і підземні частини будівель через надмірну присутність високомінералізованих ґрунтових вод.

б) через забруднення повітря агресивними оксидами - прискорюється поверхнева корозія будівель:



мармур            вихлопні гази

в) через контакт в стінах і фундаменти будівлі різних за хімічним складом будівельних матеріалів - можливе протікання хімічних реакцій на кордоні між цими матеріалами:



вапняк            пісковик



мергель            будівельний гіпс  
в портланд-  
цементі

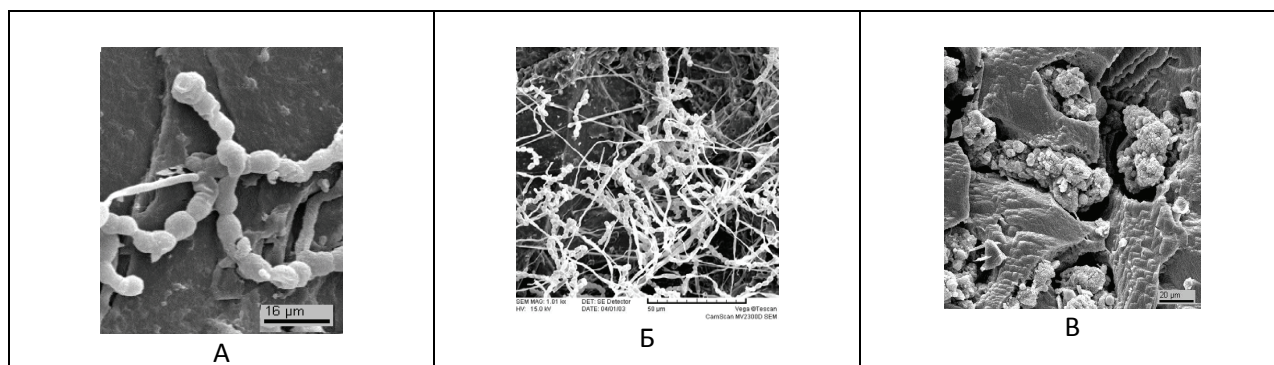


залізо            будівельний гіпс            іржа

Корозійна втома металів - це втрата міцності металу в результаті протікання в ньому хімічних реакцій (тобто в результаті його корозії).

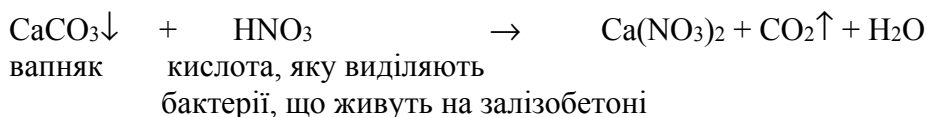
### **3. Біологічне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між біологічним вивітрюванням гірських порід і біологічним руйнуванням будівельних матеріалів.**

Біологічне руйнування будівельних матеріалів - це руйнування будівельних матеріалів речовинами, які виділяють організми, що оселилися на поверхні і всередині несучих конструкцій будівель. До таких організмів відносяться - бактерії, гриби, мохи, лишайники, водорості, вищі рослини. Серед бактерій, що ушкоджують будматеріали, виявлені: водневі бактерії, нитріфікуючі бактерії, тіонові бактерії, залізобактерії, метанові бактерії, сульфатвідновлюючі бактерії і ін. Серед грибів, що оселяються на будівельних матеріалах, дуже багато представників родів *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Alternaria* та ін.



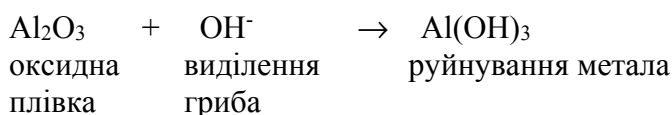
Структури мікроміцетів на карбонатних породах: А - вкорочені гіфи на поверхні проконеського мармуру в Херсонесі (початок колонізації субстрату); Б - розвинений міцелій на поверхні італійського мармуру в Санкт-Петербурзі (біоплівка з домінуванням мікроміцетів); В - мікроколонії грибів на Рускеальських мармурах в Карелії (утворення мікрокарсту) (за Власов, 2008).

У Санкт-Петербурзі 10 липня 1999 року обрушився козирок вестибюля станції метро «Сінна площа». Однією з причин цієї трагедії стало біологічне пошкодження залізобетону несучих конструкцій:



Виділяють мікроорганізми неспецифічні і специфічні. Наприклад, а) гриби більшості видів родів *Penicillium* і *Aspergill* – живуть на будь-яких будівельних матеріалах; б) гриб *Cladosporium resinae* – на нафті і нафтопродуктах; в) гриб *Aspergillus penicilloides* – оселяється на поверхні скла і руйнує його.

Наприклад, на поверхні багатьох металів формується інертна оксидна плівка, яка захищає метали від агресивної дії факторів навколишнього середовища. Виділення мікроорганізма руйнують цю плівку, викликаючи значне пошкодження металевих конструкцій:



Екзоліти - це організми, які оселяються на поверхні будівельного каменю. Ендоліти - це мікроорганізми, що живуть усередині будівельного каменю. Спори бактерій-ендолітів потрапляють всередину будівельного каменю в момент формування гірської породи.



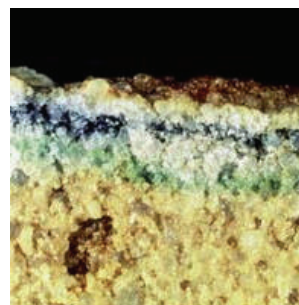
Будівля, зовнішня стінка якої заселена організмами-екзолітами.



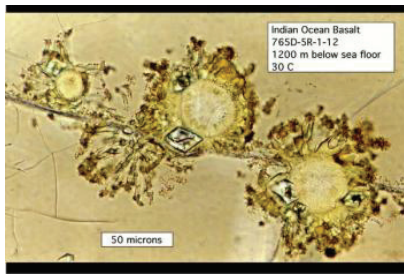
Екзоліти - організми, що живуть на поверхні будівельного каменю.



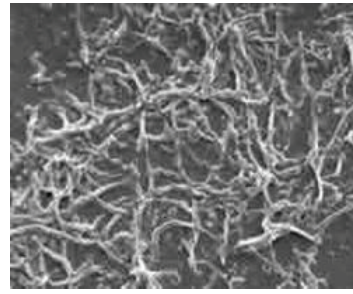
Усередині цих каменів живуть водорості, лишайники, бактерії-ендоліти.



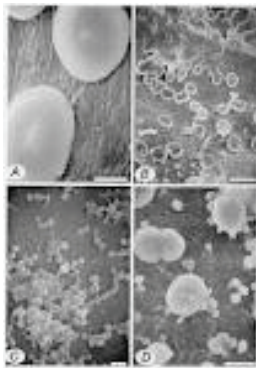
Усередині кам'янистих гірських порід Антарктиди живуть лишайники - криптоендоліти.



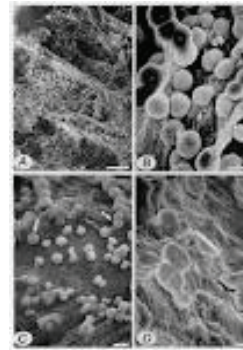
Мікроорганізми-ендоліти, які живуть на глибині 1200 м під ложем Індійського океану.



Ендоліт, що живе всередині будівельного каменя.



Ендоліти, що живуть в вапняках.



Ендоліти, що живуть в вапняках.

Через біокорозію щорічно руйнується 2% усього залізобетону, що використовується. У Санкт-Петербурзі 90% будівель уражена колоніями мікроскопічних грибів (мікроміцетів), водоростями, лишайниками, бактеріями і будинковими грибами. В результаті - міські будівлі руйнуються в кілька разів швидше розрахункових норм. Щорічний збиток становить десятки мільйонів гривень. У Санкт-Петербурзі в результаті проведення мікробіологічного аналізу на поверхні будівель було виявлено 80 родів грибів, при цьому ступінь зараження грибами в 100 разів перевищувала допустимі норми. Цікаво відзначити, що аналогічний аналіз, проведений в Москві - виявив на стінах будівель всього 40 родів грибів. Таким чином, чим нижче вологість повітря, тим менше мікроскопічних організмів здатно жити в таких умовах.

#### **4. Захист будівельних матеріалів несучих конструкцій від руйнування внаслідок розвитку в них процесів вивітрювання.**

Заходи захисту будівельних матеріалів несучих конструкцій від руйнування внаслідок розвитку в них процесів вивітрювання:

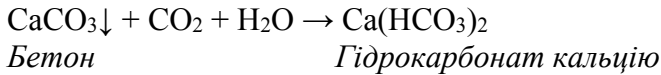
1) Тип металу і будівельного каменя добирають в залежності від кліматичних і ґрунтових умов на території будівництва. Згідно будівельним нормам і правилам – повинен обов'язково проводитися хімічний аналіз підземних вод, в ході якого встановлюють концентрацію у воді гідрокарбонатів, сульфатів, загальну кислотність і т.н. На підставі результатів хімічного аналізу добирається марка бетону, цементу, металу.

#### **\* Оцінка агресивності підземних вод по відношенню до будівельних конструкцій.**

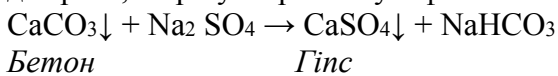
Вода - хороший розчинник. Тому, всі підземні води є природними розчинами. У них розчиняються багато солей і газів. Ці розчинені у воді речовини здатні взаємодіяти з конструкціями - з несучими палями, фундаментом господарських та житлових будівель.

Агресивність води – це негативний вплив водних розчинів на метал і бетон несучих конструкцій. Для оцінки рівня агресивності підземних вод на даній території, в лабораторних умовах визначають хімічний склад проб підземних вод, взятих з різних свердловин. Згідно «Будівельних норм і правил», агресивність підземних вод по відношенню до бетонних та металевих конструкцій оцінюється: за загальною кислотністю води; за вмістом у воді агресивної вуглекислоти, сульфатів, лугів.

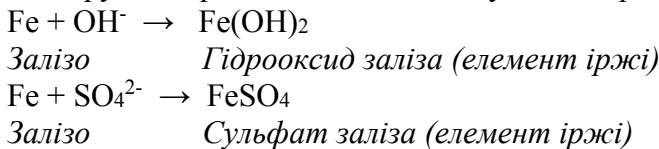
Вуглекислотна агресивність підземних вод. У присутності вуглекислоти бетон розчиняється через утворення розчинного гідрокарбонату кальцію:



Сульфатна агресивність підземних вод. При сульфатній агресивності вод відбувається кристалізація нових сполук, об'єм яких відрізняється від об'єму бетону, що призводить до руйнування бетонних конструкцій. Наприклад, при утворенні гіпсу - об'єм збільшується в два рази, а при утворенні сульфоалюміната кальцію (т.зв. «цементної бацили») - в 2,5 рази.



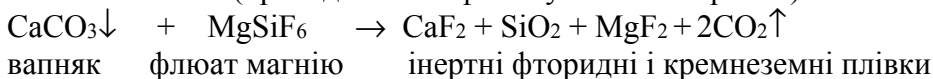
Лужна і кислотна агресивність підземних вод по відношенню до металів несучих конструкцій проявляється в їх поступовій корозії (іржавіння):



2) Металеві каркаси покривають антикорозійним покриттям.

3) Будівельний камінь обробляють спеціальними сумішами:

- сумішами, що відштовхують воду (проводять т.зв. гідрофобізацію поверхонь);
- сумішами, що забезпечують формування на поверхні будівельного каменю інертних хімічних плівок (проводять т.зв. флюатування поверхонь):



4) Будівельні матеріали обробляють біоцидами - речовинами, які інгібують розвиток мікроорганізмів на поверхні будівельних матеріалів. Необхідно пам'ятати, що колонії бактерій і грибів на поверхні будівельних матеріалів утворюють біоплівки, з якими дуже важко боротися. Тому, необхідно заздалегідь, до розвитку біоплінок, проводити біоцидну обробку поверхонь будматеріалів.

### Контрольні питання:

1. Вивітрювання гірських порід.
2. Фізичне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між фізичним вивітрюванням гірських порід і фізичним руйнуванням будівельних матеріалів.
3. Хімічне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між хімічним вивітрюванням гірських порід і хімічним руйнуванням будівельних матеріалів.
4. Біологічне руйнування будівельних матеріалів. Відмінності між біологічним вивітрюванням гірських порід і біологічним руйнуванням будівельних матеріалів.
5. Поняття втрати несучих конструкцій. Екологічні та економічні наслідки руйнування будівельних матеріалів.
6. Методи захисту несучих конструкцій від фізичного, хімічного та біологічного руйнування.

### **Література:**

1. Андреев И.Н. Коррозия металлов и их защита. – 1979.
2. Булах А.Г. Камни, среди которых живут горожане // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7. – С. 68 – 74.
3. Власов Д.Ю. Микромицеты в литобионтных сообществах: разнообразие, экология, эволюция, значение. Автореф. дисс. д.б.н. Санкт-Петербург, 2008 г.
4. Власов Д.Ю., Зеленская М.С., Горбушина А.А., Богомолова Е.В. Обзор методов исследования грибов, повреждающих памятники архитектуры и искусства // В сб. Трудов БиНИИ СПбГУ «Актуальные проблемы микологии». - 2001, № 47, с. 88-100. [http://www.znaytovar.ru/gost/2/TSN\\_203032006\\_Zashhita\\_stroite.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/TSN_203032006_Zashhita_stroite.html)
5. Власов Д.Ю., Франк-Каменецкая О.В. Биологические и физико-химические процессы разрушения мрамора в условиях Санкт-Петербурга // ИНФСТРОЙ.INFSTROY. – 2004. – Т. 2 (14). – С. 4 - 6.
6. Войтович В.А., Мокеева Л.Н. Биологическая коррозия. – 1980.
7. ГОСТ 9.050-75 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Методы лабораторных испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов.
8. Инчик В.В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен. - СПб.: СПбГАСУ, 1998.
9. Нижарадзе Т.Н. и др. Количественный учет влияния жизнедеятельности микроорганизмов на физико-механические свойства оглеенных грунтов. Методическое руководство. - Л.: ЛГУ, 1988. - 24 с.
10. Теддер Дж., Нехватал А., Джубб А. Промышленная органическая химия. – 1977.
11. ТСН 20-303-2006. Защита строительных конструкций, зданий и сооружений от агрессивных химических и биологических воздействий окружающей среды. Санкт-Петербург [http://www.znaytovar.ru/gost/2/TSN\\_203032006\\_Zashhita\\_stroite.html](http://www.znaytovar.ru/gost/2/TSN_203032006_Zashhita_stroite.html).
12. Улиг Г.Г., Ревы Р.У. Коррозия и борьба с ней. – 1989.

## Лекція 6.

### Тема: Геоекологічні наслідки, пов'язані з резонансом хвиль вібрацій в підстелюючих гірських породах.

Вібрації - це пружні механічні хвилі стиснення - розтягнення навколишнього середовища з діапазоном частот від 1,6 Гц до 1000 Гц. Вібрації поширюються в газоподібних, рідких і твердих середовищах. Чим щільніше середовище - тим швидше в ньому поширюються хвилі вібрацій.

#### 1. Джерела вібрацій в підстелюючих гірських породах.

Розрізняють природні і техногенні джерела вібрацій в підстелюючих гірських породах.

##### Техногенні джерела:

- працююче обладнання;
- рух транспорту;
- перекачування рідини по трубопроводах (нафта, вода, каналізаційні стоки і т.п.) і ін.

##### Природні джерела:

- катастрофічні джерела (землетруси, зсуви, обвали і т.п.);
- фонові джерела (чутливі віброметри показують постійну присутність мікровібрацій в підстелюючих породах з періодом приходу хвиль від 1 хв до 1 години (це т.зв. мікросейсми).

##### Причини появи фонових мікровібрацій в гірських породах:

- а) тверді припливи-відпливи в гірських породах під впливом гравітаційного поля Сонця і Місяця (амплітуда твердих припливів коливається від 35 см до 50 см в залежності від взаємного розташування землі - Місяця - Сонця);
- б) хвильові вібрації вод Світового океану (вітрові та припливні);
- в) перепади атмосферного тиску.

#### 2. Поширення хвиль вібрацій в підстелюючих гірських породах.

Для геоекологічних досліджень важливими є наступні закономірності розповсюдження хвиль вібрацій в гірських породах:

1) чим більш довгою є хвиля вібрацій і чим більше її амплітуда - тим більше в ній запасено енергії і тим вище її проникаюча здатність (вібраційна хвиля від глибинного потужного землетрусу може обігнати всю Землю);

2) хвилі вібрацій частково відбиваються від ділянок земної кори, які відрізняються за щільністю і за структурою, тобто часткове відбивання хвиль вібрацій відбувається при їхньому проходженні:

- через різні гірські породи;
- через сухі і зволожені породи;
- через зони тектонічних порушень гірських порід (тобто через розриви і складки в гірських породах);

3) результат зустрічі в одній точці простору прямої і відбитої хвиль вібрацій залежить від фази хвиль, що зустрічаються: якщо хвилі зустрічаються в однаковій фазі - тоді спостерігається явище резонансу (т.т. результуюча хвиля виявляється у багато разів більш сильною, ніж вихідна хвиля); якщо хвилі вібрацій зустрічаються в одній точці простору в протилежних фазах - то відбувається їх взаємне гасіння.

#### 3. Резонансні катастрофи.

Провали під землю машин, поїздів, працюючого обладнання, ділянок трубопроводів і т.н. відбуваються, як правило, на одних і тих же ділянках - на ділянках, де механічні вібрації в підстелюючих породах довго не розсіюються, що призводить до накладання хвиль вібрацій одна на одну, до виникнення явища резонансу і, як наслідок - до руйнування підстелюючої поверхні.

Усі максимально резонансні ділянки землі відповідають:

а) зонам тектонічних порушень в земній корі (складкам, зрушенням, надвигам, розривам гірських порід і т.п.);

б) зонам накопичення підземних вод.

#### **4. Причини руйнування підстелюючих поверхонь при впливі хвиль вібрацій.**

Причини руйнування підстелюючих поверхонь при впливі хвиль вібрацій:

1) накопичення т.зв. деформацій втоми в гірських породах (при постійному стисканні - розтягуванні порід - зменшується міцність зв'язку між частинками гірської породи);

2) прискорення суфозійних і карстових процесів внаслідок зменшення міцності зв'язків між частинками гірської породи;

3) прояв тиксотропних властивостей підстелюючих порід. Тиксотропія - це перехід твердої гірської породи в в'язко-рідкий стан при механічних навантаженнях і повернення назад в твердий стан після зняття навантажень.

Тиксотропні властивості проявляють гірські породи:

- які складаються з дрібних частинок (дрібніше, ніж 0,01 мм);

- які є перезволоженими;

- на які діють механічні навантаження (вібрації).

Причини прояву тиксотропних властивостей дрібнодисперсними перезволоженими гірськими породами: при надлишку вологи - кожна частинка гірської породи оточена шаром з молекул води; це призводить до того, що сила зчеплення між частинками породи стає меншою, ніж між частинками породи і молекулами води, що при механічних навантаженнях сприяє ковзанню частинок гірської породи одна відносно одної і до переходу гірської породи в в'язко-рідкий стан.

#### **5. Спектральне сейсмопрофілювання.**

В ході проведення спектрального сейсмопрофілювання - ділянку землі з інтервалом в 10 м просвічують звуковим сигналом. Потім прилад протягом певного проміжку часу реєструє «ехо» - т.т. всі механічні хвилі, відбиті гірськими породами на даній ділянці. На підставі отриманих даних будується карта, на яку наносять ділянки з тривало незатухаючими коливаннями підстелюючих порід. Саме ці ділянки є найбільш резонансно небезпечними.

\*NB! Звук і вібрації – це пружні механічні хвилі стискання-розтягнення навколишнього середовища. Оскільки звуки і вібрації мають однакову фізичну природу – то зондування підстелюючих гірських порід звуковими хвилями дозволяє створювати карти територій, небезпечних по накопиченню хвиль вібрацій.

На карті резонансно небезпечні території мають вигляд т.зв. V-кишені. Аналіз карти спектрального сейсмопрофілювання території дозволяє виявити: а) наявність резонансної кишені - тобто ділянки, на якій відбувається накопичення, а не розсіювання хвиль вібрацій; б) дозволяє встановити, на якій глибині розташована т.зв. резонансна кишеня і в) які частоти хвиль вібрацій накопичуються в гірських породах в районі даної резонансної кишені.

Цей метод обстеження території використовується для попередження техногенних катастроф резонансного характеру.



Прилад для проведення спектрального сейсмопрофілювання території  
(<http://www.newgeophys.spb.ru/ru/sstation.shtml>).

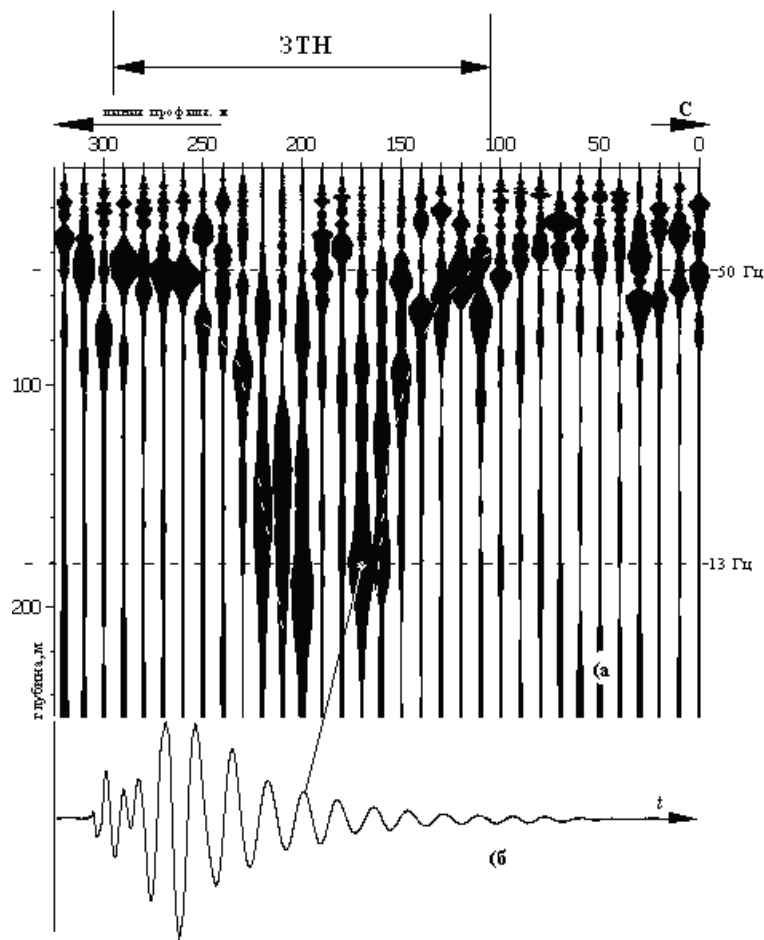


## **6. Використання методу спектрального сейсмопрофілювання для попередження техногенних катастроф резонансного характеру.**

Результати спектрального сейсмопрофілювання території дозволяють виявити ділянки, на яких тривалий час не затухають хвилі вібрацій в підстелюючих гірських породах.

На таких ділянках:

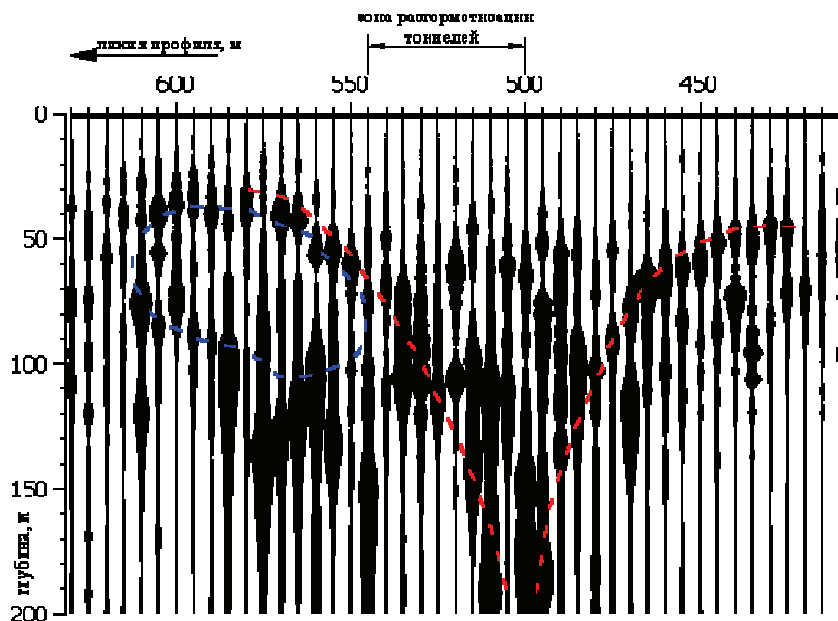
**А) не можна встановлювати ритмічно працююче обладнання.** Наприклад, в селищі Ольгіне, недалеко від Санкт-Петербурга, побудовані очисні споруди, через які прокачуються всі нечистоти Санкт-Петербурга. На території цих очисних споруд один з насосів - ось уже протягом 30 років експлуатації - регулярно провалюється під землю, обриваючи при цьому всі труби, що призводить до розливу нечистот на великих площах. Сейсмопрофілювання території очисних споруд в аварійній зоні виявило резонансну V-воронку або резонансну V-кишеню, в якій відбувається накопичення хвиль вібрацій від ритмічно працюючого насоса очисних споруд, що сприяє розвитку втоми несучої поверхні і призводить до провалювання несучої поверхні разом з насосом під землю.



Результат спектрального сейсмопрофілювання території очисних споруд в сел. Ольгіне, 30 км від Санкт-Петербурга.

**Б) на таких ділянках не можна проводити залізничні лінії і лінії метрополітену.** Наприклад, в 1995 році сталася аварія на Санкт-Петербурзькому метрополітені. Аналіз аварійної ділянки за допомогою методу спектрального сейсмопрофілювання виявив резонансну V-кишеню, в районі якої і відбулося провалювання залізничного полотна під землю. Під час руху потягу ритмічні удари коліс створюють коливання, які накопичуються на ділянках, що відповідають V-кишені профілю. Віброметри уздовж траси саме на цих ділянках реєструють максимальне збільшення амплітуди коливання ґрунту під час руху потягу. Причому слід підкреслити, що провалюються під землю, як правило, не перші

вагони, а вагони в середині потягу, т.т. в момент максимального накопичення хвиль вібрацій в підстелюючих гірських породах.



Результат спектрального сейсмопрофілювання території, вздовж якої прокладена лінія метрополітену. Слабо виражений овальний ореол (позначений блакитною пунктирною лінією) відповідає зоні розташування пливуну.

---

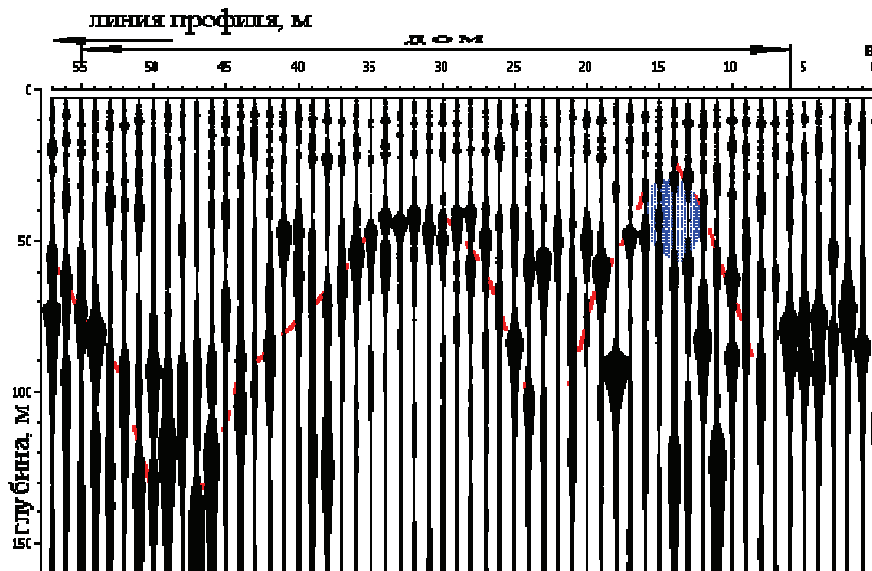
\*NB! Пливун - це явище, при якому перенасичені водою гірські породи починають рухатися, проявляючи властивості дуже в'язкої рідини. Розрізняють істинні пливуні і псевдопливуні.

Псевдопливуні виникають на піщаних і великоуламкових ґрунтах при їх перезволоженні підземними водами. Ліквідувати такі пливуні можливо шляхом відведення підземних вод із зони будівництва.

Поява справжніх пливунів пов'язана не просто з перезволоженням, а й зі зміною структури гірської породи. У таких гірських породах з'являються колоїдно-дісперсні фракції з частинок гірської породи. В.В. Радіною було встановлено, що справжні пливуні формуються тому, що в водонасиченій дисперсній гірській породі відбувається накопичення газоподібних продуктів життєдіяльності мікроорганізмів. Ці гази викликають надмірний тиск в рідкій фазі гірської породи, що і є енергетичним фактором її рухливості. Збезводнити такі гірські породи звичайними методами висушування практично неможливо. Для боротьби з істинними пливуні використовують методи електродренажа або глибокого проморожування гірських порід.

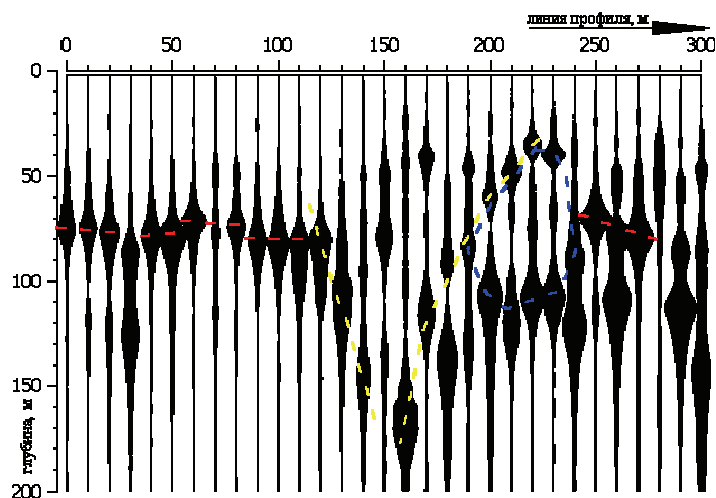
---

В) на таких ділянках не можна будувати висотні будівлі, оскільки кожна будівля має свою власну амплітуду і частоту коливання (через обертання Землі навколо своєї осі, через дії твердих Сонячних і Місячних припливів, через рух повітряних мас, через техногенні вібрації обладнання в самій будівлі і т.н.). Якщо будівля стоїть в резонансно-небезпечній зоні і частота її власних коливань збігається з резонансною частотою в V-кишені, - то будинок зруйнується. Якщо ж власна частота коливання будівлі виявляється близькою до резонансної, тоді розгойдування будівлі буде періодично посилюватися (матимуть місце т.зв. гойдання - биття). Наприклад, на острові Тайвань побудований хмарочос заввишки 509 м. Цей хмарочос стоїть на резонансній V-кишені. Але, оскільки його власна частота коливань є колорезонансною для цієї V-кишені, то періодично амплітуда коливання цієї будівлі збільшується в 2 рази.



Результат спектрального сейсмопрофілювання території, на якій розташований «Падаючий хмарочос» в м. Санкт-Петербург. На схемі пливун показаний як овальне заштриховане утворення (16 - 12 м).

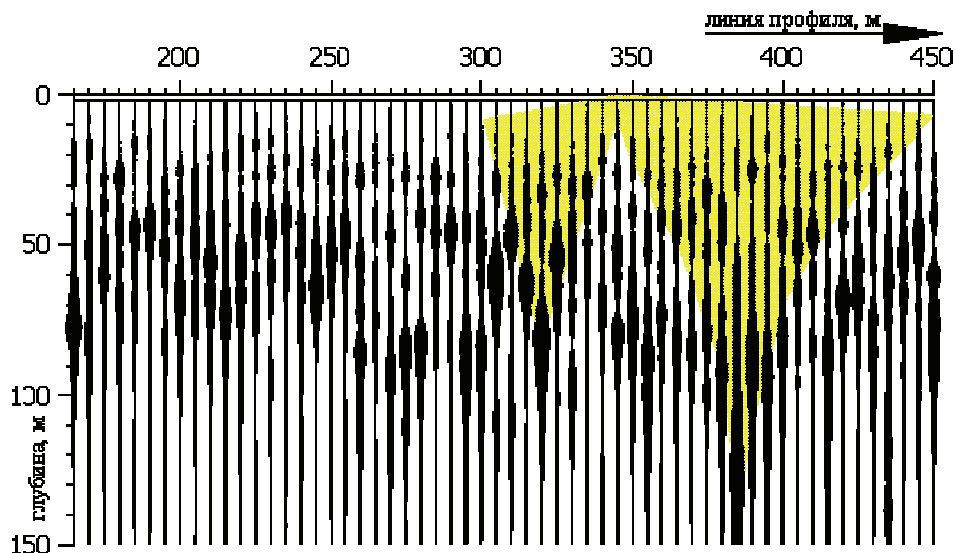
Г) на таких ділянках не можна прокладати трубопроводи, оскільки при прокачуванні рідини по трубах генеруються вібрації. Накопичення таких вібрацій в резонансно-небезпечних ділянках землі призводить до руйнування поверхні землі і до розриву труб внаслідок накопичення деформацій втомі як в підстелюючих гірських породах, так і в самій трубі. Причому важливо підкреслити, що результат не залежить від того - над землею або під землею прокладено трубу.



Результат спектрального сейсмопрофілювання території, на якій розташована аварійна ділянка газопроводу «Уренгой - Новопсковськ». Овальне «вікно», окреслене синьою пунктирною лінією, - карстова порожнина (на профілі - 190 - 240 м).

Д) на таких ділянках не можна розташовувати сховища небезпечних відходів, нафтосховища і т.п., оскільки на таких територіях відбувається накопичення коливань вібрацій як природних, так і техногенних, що в підсумку призводить до розвитку деформацій втомі в підстелюючих породах і в конструкціях сховищ і сприяє витoku небезпечних речовин в навколишнє середовище.

Наприклад, в селищі Шувалово, Росія, стався витік авіаційного бензину з цистерни, розташованої над резонансною кишенею. Наприклад, в сховищі відходів хімічного виробництва «Червоний бор», стався витік токсинів через розвиток деформацій втомі в глинах, розташованих над резонансною кишенею.



Результат спектрального сеймопрофілювання території, на якій розташований полігон для захоронення високотоксичних відходів хімічного виробництва «Червоний Бор».

### **7. Способи захисту несучих конструкцій від вібрацій.**

Для захисту несучих конструкцій від хвиль вібрацій використовують ряд підходів.

1) Уздовж залізничного полотна встановлюють прилади для реєстрації вібрацій. При значному збільшенні амплітуди вібрацій - подається сигнал машиністу змінити швидкість руху поїзда, а зміна швидкості руху поїзда дозволяє уникнути резонансу пружних механічних хвиль вібрацій.

2) Рейки метрополітену ізолюють від ґрунтів за допомогою гумових прокладок (віброізоляція).

3) Висотні будівлі і віброуюче обладнання - ставлять на пневматичні віброізолятори.

4) На небезпечних ділянках роблять пластичне зчленування між частинами трубопроводу, щоб уникнути накопичення деформацій втомі при вібрації жорсткої конструкції. Аналогічні пластичні зчленування роблять між блоками будівель, між секціями мостів і т.н.

Крім того, обов'язковим є проведення віброекологічної експертизи проектів і вже діючих об'єктів. Об'єкти, як правило, мають віброекологічний паспорт.

### **Контрольні питання:**

1. Природні і техногенні джерела вібрацій в підстелюючих гірських породах.
2. Поширення хвиль вібрацій в підстелюючих гірських породах.
3. Резонансні катастрофи.
4. Причини руйнування підстелюючих поверхонь при впливі хвиль вібрацій.
5. Спектральне сеймопрофілювання.
6. Використання методу спектрального сеймопрофілювання для попередження техногенних катастроф резонансного характеру.
7. Способи захисту несучих конструкцій від вібрацій.

### **Література:**

1. Локшин Г.П., Лихачева Э.А., Лацика Я., Крайчович Ю. Оценка вибрационного воздействия на территории города (на примере Москвы и Братиславы) // Инженерная геология. 1991. № 4. С. 82-91
2. Жигалин А.Д., Локшин Г.П. Формирование вибрационного поля в геологической среде // Инженерная геология. 1991. № 6. С. 110-119.

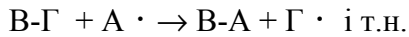
3. Вознесенский Е.А., Коваленко Е.А., Кушнарева Е.А., Фуникова В.В. Разжижение грунтов при циклических нагрузках. М.: Изд-во МГУ. 2005. 134 с.
4. Вознесенский Е.А. Динамические свойства грунтов и их учёт при анализе вибраций фундаментов разного типа // Геозкология. 1993. № 5. С. 37 – 65.
5. Баркан Д.Д. Виброметод в строительстве. М.: Госстройиздат. 1959. 316 с.
6. Гурвич В.И., Жигалин А.Д., Локшин Г.П., Труфманова Е.П. Опыт изучения поля вибрации на территории города с целью оценки состояния геологической среды // Инженерная геология. 1991. № 1. С. 74-81.
7. Зиангиров Р.С., Кутергин В.Н. Факторы, определяющие изменение прочности глинистых грунтов при вибрации // Комплексные инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. М. 1984. С. 23-32.
8. Мельник, В.В., Замятин, А.Л. Пустуев, А.Л. Применение метода спектрального сейсмопрофилирования для прогноза и снижения риска аварий и катастроф при недропользовании // Горный журнал. - 2012. - № 1. - С. 86-89.
9. Мельников Е.К., Мусийчук Ю.И., Потифоров А.И. Геопатогенные зоны - миф или реальность? - Л.: ВНИИ Океангеология. - 1993.
10. Рудник В.А. Влияние зон геологической неоднородности Земли на среду обитания. // Вестник РАН N 8 т.66.- 1996.- с.713-719.
11. Мельников Е.К. Решение геозкологических проблем с помощью нестандартных геофизических методов. <http://www.studzona.com/referats/view/39187>
12. Гликман А.Г. "Физика и практика спектральной сейсморазведки" на веб-сайте [www.newgeophys.spb.ru](http://www.newgeophys.spb.ru).
13. Сашурин А.Д. "Современная геодинамика и техногенные катастрофы." Сб. докладов международной конференции "Геомеханика в горном деле - 2002" Екатеринбург, Игд УрО РАН 19-21 ноября 2002 г, <http://igd.uran.ru/geomech/>, обновление 23.02.2003. Читать полностью: <http://www.km.ru/referats/79380EDF8E2B4246820E02D2D977FFF9>
14. <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/ex9.shtml>
15. Гликман А.Г. "Физика и практика спектральной сейсморазведки" на веб-сайте [www.newgeophys.spb.ru](http://www.newgeophys.spb.ru).
16. Мельников Е.К. Решение геозкологических проблем с помощью нестандартных геофизических методов. <http://www.studzona.com/referats/view/39187>.

## Лекція 7

### Тема: Іонізуюче випромінювання

#### 1. Поняття «іонізуюче випромінювання».

Іонізуюче випромінювання - це випромінювання, яке перетворює нейтральні молекули в агресивні іони і вільні радикали. При цьому вільні радикали, що з'явилися в клітині, запускають ланцюгову реакцію появи нових вільних радикалів, що призводить до накопичення в клітині великої кількості пошкоджених молекул.



Де: А-В, В-Г – звичайні молекули клітини; А · , Б · - вільні радикали, що з'явилися в клітині в результаті впливу на неї  $\gamma$ -променів; В-А – бракована молекула; Г · - вторинний вільний радикал, що утворився в клітині в ході ланцюгової реакції, яка була викликана первинними вільними радикалами.

Іонізуючою дією володіють: 1) короткі електромагнітні хвилі (рентгенівські і гамма-промені); 2) а також елементарні частинки (електрони, позитрони, нейтрони, протони та ін.), які рухаються з великою швидкістю.

#### 2. Джерела іонізуючого випромінювання.

Основні природні джерела іонізуючого випромінювання:

- радіоактивний розпад природних ізотопів хімічних елементів, що входять до складу мінералів і гірських порід (урану, радю, торію, і т.н.);

- надходження на поверхню Землі космогенних радіоактивних елементів, які формуються в результаті взаємодії первинного галактичного випромінювання з атмосферними газами Землі. Наприклад, взаємодія нейтронів (n) галактичного випромінювання з атомами азоту ( $^{14}\text{N}$ ) атмосферного повітря призводить до утворення радіоактивного вуглецю ( $^{13}\text{C}^*$ ), який надалі у складі вуглекислого газу потрапляє в клітини рослин і, за трофічним ланцюгом, в організм тварин:  $n + ^{14}\text{N} \rightarrow ^{13}\text{C}^* + \beta + \text{ін.}$

Основні техногенні джерела іонізуючого випромінювання:

- попадання в атмосферу радіоактивних елементів в результаті спалювання природного вугілля, торфу і т.п.;

- використання в будівництві природних радіоактивних будівельних матеріалів (граніти, піски, вапняки і т.н.);

- виплавка сталі, чавуну та інших металів з радіоактивних руд;

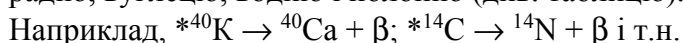
- внесення на поля добрив, вироблених з природних радіоактивних апатитів, селітр і т.н.;

- радіоактивне забруднення середовища пов'язане з роботою спеціального діагностичного медичного та технологічного обладнання, пов'язане з роботою атомних електростанцій, з захороненням радіоактивних відходів, проведенням ядерних військових випробувань тощо.

Зовнішні та внутрішні джерела іонізуючого випромінювання.

Якщо джерело іонізуючого випромінювання знаходиться в навколишньому середовищі - то таке джерело є зовнішнім, а якщо джерело знаходиться всередині організму і його клітин - таке джерело іонізуючого випромінювання є внутрішнім.

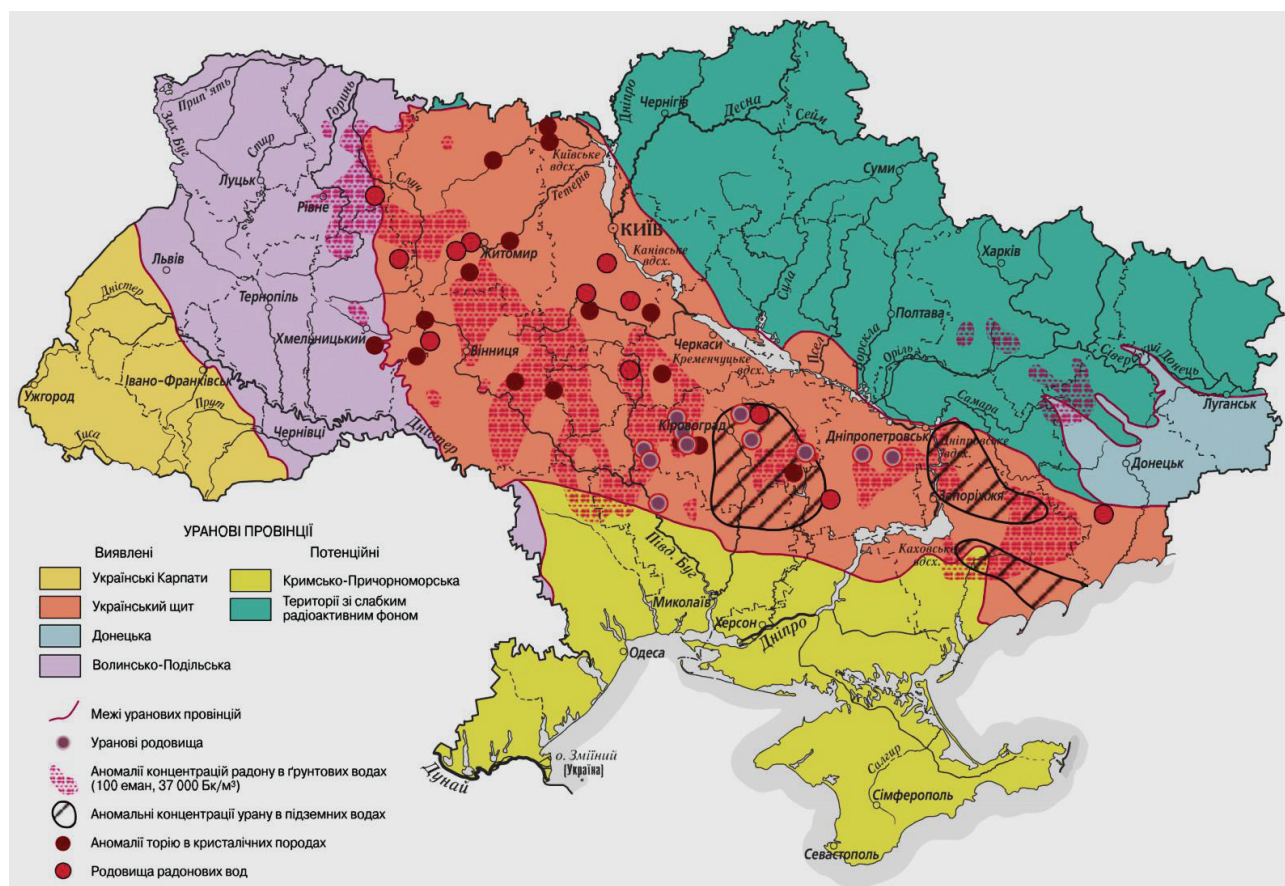
Всередину організму радіонукліди потрапляють з повітрям (інгаляційний шлях надходження радіонуклідів), а також з водою, мінеральними і органічними поживними речовинами (пероральний шлях надходження радіонуклідів). Проведені дослідження показали, що в тілі людини масою 70 кг присутній приблизно 17 - 18 мг радіоізоотопів і за добу відбувається близько 705 мільйонів радіоактивних розпадів ізотопів урану, торію, калію, радю, вуглецю, водню і полонію (див. таблицю).



\*NB! При цьому, якщо радіоактивний вуглець вбудувався в ДНК клітини, то після його розпаду і заміщення на азот - в ДНК клітини з'являється мутація.

Таблиця. Вміст природних радіонуклідів і рівень природної радіоактивності в тілі людини масою 70 кг.

Радіонукліди:	Загальний вміст:	Кількість розпадів за добу:
ізотопи урану*	90 мкг	95000
ізотопи торію*	30 мкг	9500
ізотопи калію*	17 мг	380000000
ізотопи радію*	31 пг	95000
ізотопи вуглецю*	22 нг	320000000
ізотопи водню*	0,06 пг	2000000
ізотопи полонію*	0,2 пг	3200000



Карта природної радіоактивності на території України (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

### **3. Біологічна дія іонізуючого випромінювання на живі організми.**

Біологічна дія іонізуючого випромінювання на живі організми залежить: а) від отриманої дози випромінювання; б) від типу випромінювання (гамма-промені мають максимальну проникаючу здатність, але не несуть великого запасу енергії; тоді як альфа-частинки - хоча і не мають високої проникаючої здатності, але, потрапивши всередину організму наносять дуже велику шкоду, оскільки несуть дуже великий запас енергії і т.п.); в) від видової та індивідуальної стійкості організмів до шкідливої дії іонізуючого

випромінювання (в обшивці ядерних реакторів живуть бактерії *Deinococcus radiodurans* - дуже стійкі до радіації завдяки надінтенсивній роботі ферментів репарації ДНК).

Біологічна дія малих природних доз іонізуючого випромінювання. Лабораторні дослідження з рослинами, грибами і тваринами показали, що повне ізолювання живих організмів від дії малих природних доз іонізуючого випромінювання - погіршує обмін речовин в клітинах, зупиняє ріст і поділ клітин, в результаті - організм починає хворіти і т.п.

Проведені дослідження свідчать про те, що навіть в звичайних, не стресових умовах в ДНК з'являються пошкодження, викликані тепловим рухом атомів в молекулах ДНК. Малі природні дози іонізуючого випромінювання активують включення процесів лагодження ДНК і процесів руйнування відпрацьованих молекул. Це, в кінцевому підсумку, сприяє росту і поділу здорових клітин, а клітини, у яких поломки неможливо полагодити - включають р53-залежний апоптоз і самознищуються.

Біологічна дія доз іонізуючого випромінювання, які кілька перевищують природний фон. Явище радіаційного гормезису. Аналіз даних медичної статистики показав, що люди, які пережили бомбардування Хіросими і Нагасакі (ті, хто не загинув і не помер в перші п'ять років після ядерного вибуху) - менше хворіють, у порівнянні з неопроміненими японцями. Військовослужбовці ядерних полігонів, працівники атомних електростанцій, робочі уранових рудників, жителі регіонів з дуже високим рівнем природної радіації - хворіють, як правило, рідше, ніж люди, які піддаються тільки низьким природним дозам іонізуючого випромінювання.

Радіаційний гормезис – це позитивний вплив на живі організми іонізуючої радіації в дозах, які кілька перевищують природний фон. Проведені дослідження показали, що такі, кілька підвищені дози випромінювання, збільшують кількість полумок ДНК. Позитивний ефект кілька підвищених доз іонізуючого випромінювання на живі організми пов'язаний з тим, що в клітинах активуються процеси репарації (лагодження) молекул ДНК і деградації старих і бракованих молекул, а поломки, які виникають в кодуєчій частині молекул ДНК, знищуються за допомогою р53-незалежного апоптозу або імунною системою. Однак, при цьому відбувається накопичення мутацій в тій частині ДНК, яка мовчить у даної особини - і це може становити потенційну небезпеку радіаційного гормезису для наступних поколінь (тому що мовчазні ділянки в результаті перекомбінації генетичного матеріалу, деметилування ДНК і т.п. - можуть у нащадків стати активними).



Санаторій в м. Хмельник, Україна, в якому лікування проводять за допомогою радіоактивних радонових ванн (за <http://radon.com.ua/uk/radonovye-vanny/>).

---

\* На півострові Керал, Індія, на поверхню виходять високорадіоактивні породи. В результаті, природний фон радіоактивності на даній території в багато разів перевищує середній фон по Землі. Однак, місцеве корінне населення досить комфортно почуває себе в умовах, небезпечних для жителів інших територій. Проте, аналіз ДНК виявив у місцевого населення, порівняно з іншими жителями Землі, накопичення мутацій в генах, які мовчать.



Таким чином, радіаційний гормезис може становити потенційну небезпеку для наступних поколінь жителів півострова Керал.

Біологічна дія середніх і високих доз іонізуючого випромінювання. Середні і високі дози іонізуючого випромінювання викликають розриви в ДНК і появу в клітині вільних радикалів, які за ланцюговою реакцією, пошкоджують ліпіди, білки, РНК, ДНК і інші молекули в клітині. Накопичення пошкоджених молекул призводить до включення в клітинах захисних програм: лагодження ДНК, деградації бракованих молекул, самознищення сильно пошкоджених клітин через р53-залежний апоптоз. Результат дії середніх і високих доз іонізуючого випромінювання буде залежати від ефективності захисних механізмів організму: від розвитку хвороб внаслідок порушення роботи ДНК до загибелі окремих клітин і цілого організму, за умови, якщо значна кількість пошкоджених молекул в клітинах призвела до запуску програми на самознищення.

Біологічна дія радіонуклідів різного типу. Результати дослідження особливостей накопичення радіонуклідів різного типу в клітинах і тканинах живих організмів, наведені в таблиці.

Таблиця. Біологічна дія радіонуклідів різного типу.

Радіонуклід:	Тип випромінювання, який він дає:	Період напіврозпаду:	Накопичення в живих тканинах:
Йод-131, $^{131}\text{I}$	$\beta$ - і $\gamma$ -випромінювання	8 діб	в щитовидній залозі
Торій-228, $^{228}\text{Th}$	$\alpha$ - випромінювання	1,6 року	в печінці, селезінці, кістковому мозку, надниркових залозах
Кобальт-60, $^{60}\text{Co}$	$\gamma$ - випромінювання	5 років	в печінці і селезінці
Стронцій-90, $^{90}\text{Sr}$	$\beta$ - випромінювання	28 років	в кістковій тканині
Цезій-137, $^{137}\text{Cs}$	$\beta$ - і $\gamma$ -випромінювання	30 років	в м'язовій тканині, в печінці, в нирках
Радій-226, $^{226}\text{Ra}$	$\alpha$ - випромінювання	1 620 років	в кістках
Полоній-239, $^{239}\text{Po}$	$\alpha$ - випромінювання	24 000 років	в кишечнику, в печінці

Біологічна дія радіонуклідів різного типу залежить:

а) від їх здатності перетворювати нейтральні молекули в агресивні іони і вільні радикали (наприклад, нейтронне і протонне випромінювання є більш небезпечним, ніж гамма-, рентгенівське і бета-випромінювання);

б) від місця накопичення радіонуклідів в тканинах живих організмів (наприклад, накопичення в кістковому мозку є більш небезпечним, ніж в м'язах);

в) від швидкості виведення радіонуклідів з організму (наприклад, уран і торій - накопичуються в кістках. Але, період напіввиведення урану становить 450 діб, тоді як торію - 60 років);

г) від швидкості радіоактивного розпаду радіонуклідів.

Серед радіонуклідів, наведених у таблиці, три - є випромінювачами альфа-частинок ( $\alpha$ -випромінювання): торій-228, радій-226 і полоній-239. Як Ви думаєте, який з цих трьох радіонуклідів є найбільш небезпечним? Найнебезпечнішим є торій-228, оскільки у нього найкоротший період напіврозпаду і, отже, при одній і тій самій кількості радіонуклідів, при

розпаді торію-228 організм за більш короткий термін отримає таку ж дозу опромінення, як при розпаді інших альфа-випромінювачів.

Активність радіонукліда – це кількість радіоактивних розпадів за одиницю часу. Вимірюється в беккерелях: 1 Бк = 1 розпад за 1 сек.

Питома активність радіонукліда – це активність, яка припадає на одиницю маси речовини джерела. Вимірюється в Бк/кг. Цей показник вказує на кількість радіоактивних розпадів за 1 секунду, які припадають на 1 кг речовини радіоактивного джерела.

#### **4. Механізми самозахисту організмів, причини та наслідки неадаптації організмів до дії іонізуючого випромінювання.**

Механізми самозахисту організмів від дії іонізуючого випромінювання:

- а) включення програми репарації ДНК;
- б) включення механізмів деградації бракованих молекул (через протеосоми, лізосоми, аутофагію і т.п.);
- в) включення програми гіпермутагенеза (мутаційного вибуху) - для можливого придбання організмом корисних мутацій (при гормезисних дозах опромінення, а також при дії середніх і високих доз радіації);
- г) включення р53-залежного апоптозу (при будь-яких дозах радіації), р53-незалежного апоптозу (при гормезисних дозах радіації), активування імунної системи (при гормезисних дозах радіації) - при появі в клітинах поломок, які неможливо усунути.

Наслідки неадаптації організмів до дії іонізуючого випромінювання: а) смерть окремих клітин і цілих організмів; б) передчасне старіння через припинення поділу стовбурових клітин, які оновлюють тканини організму; в) розвиток хвороб, поява злоякісних пухлин, поява вроджених каліцтв.

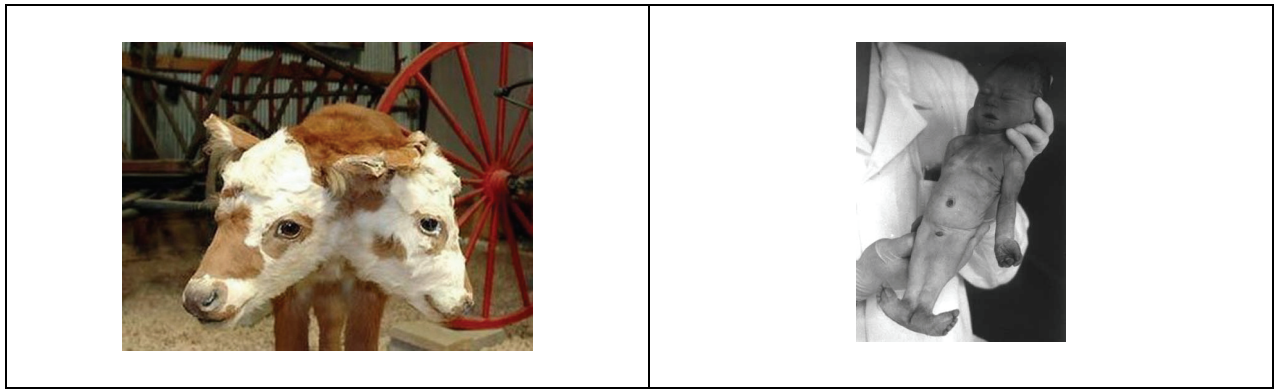


Променева хвороба.

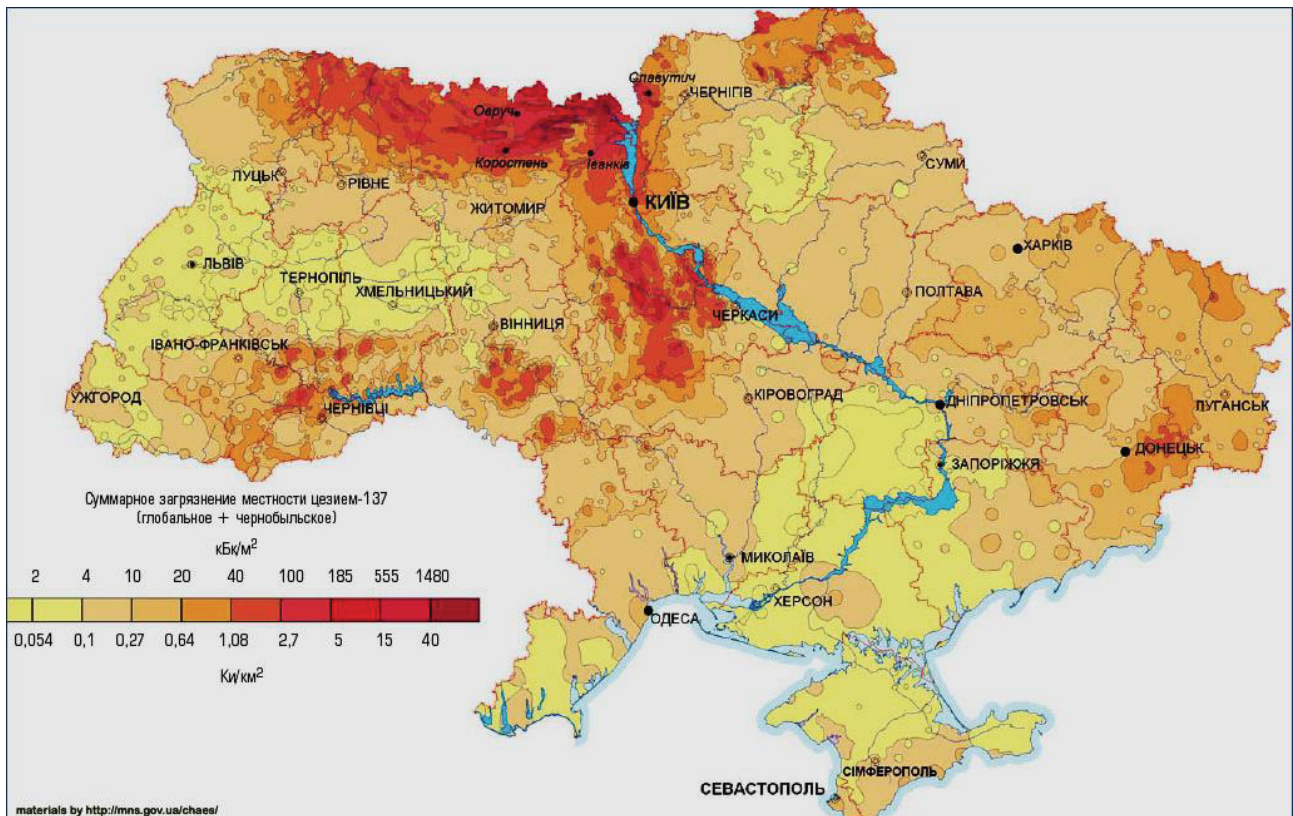


Променева хвороба. Загибель клітин шкіри – один з проявів даної хвороби.

\*У телемарафоні через рік після Чорнобильської аварії була показана родина - на дивані сиділа бабуся і два дідусі. Один зі старожилів - 25-річний хлопець-вертольотчик, який облітав саркофаг Чорнобильської АЕС в 1986 р. Через величезну дозу іонізуючого випромінювання багато його колег померли від променевої хвороби, а в його організмі через накопичення великої кількості поломок в молекулах ДНК, включилася програма передчасного старіння.



На фотографіях наведені приклади мутагенної та тератогенної дії високих доз іонізуючого випромінювання на тварин і людей після аварії на Чорнобильській АЕС.



Карта забруднення території України радіоактивним цезієм-137 в наслідок техногенної катастрофи на Чорнобильській АЕС в 1986 р. В цілому, в результаті Чорнобильської катастрофи територія України була забруднена радіонуклідами цезію, стронцію, америцію, плутонію (за <http://chornobyl.in.ua/uk/karty-radiacia-ukraina.html>).

Причини неадаптації організмів до високих доз іонізуючого випромінювання:

- 1) при великій потужності дози іонізуючого випромінювання (кількість випромінювання, що впливає на організм в одиницю часу) - організм не встигає включити програму самозахисту;
- 2) якщо доза іонізуючого опромінення перевищує поріг видової адаптації даного організму – в цьому випадку організм не має генетичних ресурсів для включення програми самозахисту від такого рівня впливу.

В умовах інтенсивного впливу іонізуючого випромінювання - організми здатні набувати адаптації до таких умов. Наприклад, сучасні бактерії *Deinococcus radiodurans* живуть в рідині, яка охолоджує ядерні реактори, і є гіперстійкими до іонізуючого випромінювання за рахунок суперпотужної системи лагодження молекул ДНК (ця бактерія

може полагодити понад 100 двонитевих розривів ДНК на своїй хромосомі за одну секунду). У зоні відчуження Чорнобильської АЕС знайдені гриби, які не тільки добре переносять підвищений рівень радіоактивності навколишнього середовища, а й виявляють радіотропізм (тобто, ростуть у напрямку до джерела іонізуючого випромінювання) і перейшли до радіотрофії, (тобто, до вилучення енергії, що утворилася в результаті радіоактивного розпаду).

---

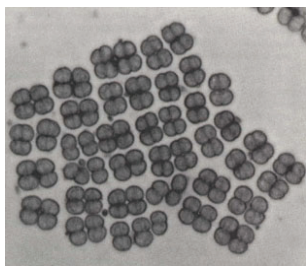
\*Архебактерії *Pyrococcus furiosus* живуть в гарячих джерелах при температурі +100°C. Виявилось, що ці архебактерії є в 20 разів більш стійкими до іонізуючого випромінювання і ультрафіолету, ніж звичайні архебактерії і бактерії за рахунок дуже якісного механізму репарації молекул ДНК і особливої стійкості білків, що структурують молекули ДНК.

---

\*Радіотропізм - це спрямований рост організмів в сторону джерела іонізуючого випромінювання. Поява радіотропізму у грибів, що мешкають в Чорнобильській зоні відчуження, навела дослідників на думку, що ці гриби в результаті мутагенезу придбали здатність до радіотрофії - тобто здатність отримувати і потім використовувати для своїх внутрішньоклітинних процесів енергію радіоактивного розпаду. Відомо, що основним джерелом енергії для внутрішньоклітинних процесів у звичайних грибів є енергія високоенергетичних електронів, які ферментні системи клітин грибів вилучають з готових органічних поживних речовин.

В результаті радіоактивного розпаду деяких ізотопів випускається потік високоенергетичних електронів (т.зв.  $\beta$ -випромінювання). Цілком можливо, що в результаті прискореного мутагенезу в зоні підвищеного рівня радіації, у грибів з'явилося пристосування для вловлювання потоку цих високоенергетичних електронів. Зокрема, у організмів в Чорнобильській зоні відчуження виявлена посилена пігментація клітин зовнішнього епітелію за рахунок гіперпродукції пігментів меланіну. Припускають, що меланіновий екран захищає клітини від іонізуючого випромінювання і при певних умовах може виступати в якості приймача, що уловлює і передає високоенергетичні електрони в електронотранспортний ланцюг. З іншого боку, у грибів міг сформуватися ендосимбіоз з радіотрофними бактеріями - і це є найбільш вірогідним сценарієм розвитку подій.

---



Бактерії *Deinococcus radiodurans* мешкають обкладинці ядерних реакторів



Гриби *Cladosporium cladosporioides* проявляють позитивний радіотропізм.

### **5. Об'єкти і матеріали, які підлягають радіаційному контролю.**

Радіаційному контролю підлягають наступні об'єкти і матеріали: рудні і нерудні корисні копалини (залізні руди, руди кольорових металів, апатити (фосфорні добрива), селітри (азотні добрива і т.н.); продукція металургійних підприємств; будівельні матеріали (пісок, галька, граніт, глина, вапняк і т.н.); кар'єри з видобутку сировини і будівельних матеріалів; побудовані будівлі; деревина; продукція паперової промисловості; металобрухт,

макулатура та ін. вторсировина; вода і продукти харчування; вантажі, які перевозяться через державний кордон (всі вантажі повинні мати сертифікат радіаційного обстеження), і т.н.

## **6. Законодавчі акти з радіаційного контролю.**

На сьогоднішній день прийнято такі законодавчі акти з радіаційного контролю навколишнього середовища:

- «Міжнародна конвенція про ядерну безпеку»;
- 24.04.1990 р. Постанова Кабміну УРСР «Про порядок і періодичність обнародування даних про екологічну, в тому числі радіаційну обстановку, і рівні захворюваності населення»;
- закон «Про охорону атмосферного повітря»;
- 1995 Указ про затвердження «Положення про радіаційний контроль картонно-паперової продукції»;
- 1997 г. ДБН В.1.4.-2.01-97 «Радіаційний контроль будівельних матеріалів та об'єктів будівництва»; Наприклад, в м.Луганську 60% приміщень шкіл і дитячих садків перевищують гранично допустимі рівні за вмістом радону;
- 2000 році Міністерством екології та природних ресурсів України видано Указ «Про затвердження інструкції щодо проведення радіаційного контролю транспортних засобів і вантажів у пунктах пропуску через державний кордон та на митній території України».

Наприклад, у 2008 році Відділ екологічного контролю на митницях України затримав 347 тонн імпортного радіаційно-забрудненого металобрухту, пестицидів, пластмас, макулатури. Вантажі були повернуті відправникам в Польщі, Росії, Молдові, США, Румунії, Італії, Словаччині.

---

\*NB! З 2001 р. отримати сертифікат радіаційного обстеження можна не тільки на митниці, але і ще в 87 пунктах екологічного контролю на території України. Це було зроблено для розвантаження кордонів. При отриманні сертифікату оплата йде: а) за проведення радіаційного контролю вантажу (200 гр за чорні метали, 350 гр за кольорові метали); б) за видачу сертифіката екологічного контролю (300 - 600 гр); в) в пункті пропуску через кордон (наприклад, за 5 - 30 т металобрухту - 200 - 1600 гр; за 2 500 - 10 000 т металобрухту - 2 500 - 20 000 гр.) і т.н.

---

## **7. Основні дозиметричні величини.**

Основні дозиметричні величини:

а) поглинена доза (ПД) - це кількість енергії іонізуючого випромінювання, поглиненої 1 кг речовини (води, ґрунту, тканин).

1 Грей (Гр) - це доза опромінення, при якій речовина масою 1 кг поглинає 1 Джоуль енергії іонізуючого випромінювання:  $ПД = 1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$

Поглинена доза залежить від типу випромінювання, його інтенсивності, від типу поглинаючої речовини. \*NB! Якщо поглинену дозу, яка вбиває людину, перевести в теплову енергію, то її вистачить лише на те, щоб трохи нагріти склянку води. Енергія, яку віддає іонізуюче випромінювання - невелика. Але, особливість цього випромінювання полягає в тому, що короткі електромагнітні хвилі (гамма, рентгенівське випромінювання) і швидкі елементарні частинки викликають пошкодження молекул (перетворюють їх в іони і вільні радикали). Таким чином, для біологічних об'єктів важливою є не поглинена енергія, а шкідлива дія іонізуючого випромінювання.

б) еквівалентна доза (Н<sub>Т</sub>) – відображає ступінь шкідливого впливу на організм опромінення різного типу, тобто здатність опромінення різного типу перетворювати нейтральні молекули в іони і вільні радикали. Вимірюється в зівертах (Зв). Таким чином, ступінь пошкодження організму іонізуючим випромінюванням залежить від того, скільки зівертів опромінення він отримав.

$$H_T = D_T \cdot W_R$$

Де:  $H_T$  – еквівалентна доза, Зв;  $D_T$  – доза, поглинена тканинами організму;  $W_R$  – радіаційний коефіцієнт, який залежить від шкідливої дії опромінення певного типу. Радіаційний коефіцієнт: для гамма променів ( $\gamma$ ), для рентгенівських променів (R) і для бета променів ( $\beta$ ) дорівнює  $W_R = 1$ ; для протонів (p) - дорівнює  $W_R = 5$ ; для нейтронів (n) і альфа-часток ( $\alpha$ ) – дорівнює  $W_R = 20$  і т.н.

Наприклад, на 1 мм шляху в тканинах бета-частинки ( $\beta$ ) викликають іонізацію 4-х молекул, а альфа-частинки ( $\alpha$ ) – викликають іонізацію декількох тисяч молекул.

в) ефективна доза (E) – відображає різну чутливість клітин одного організму до іонізуючого випромінювання. Наприклад, стовбурові кровотворні клітини є більш чутливими до дії іонізуючого випромінювання, ніж стовбурові клітини кишечника і т.п. Так, проведені дослідження показали, що через 40 днів після гамма-опромінення в дозі 8 Гр організм вмирає через загибель кровотворних клітин кісткового мозку. Якщо організм людини отримав дозу гама-опромінення 32 Гр - то через 8 днів він помирає через загибель стовбурових клітин кишкового епітелію.

$$E = H_T \cdot W_T$$

Де: E – ефективна доза опромінення;  $H_T$  – еквівалентна доза опромінення;  $W_T$  – тканинний коефіцієнт. Тканинний коефіцієнт відображає радіаційну чутливість окремих типів клітин і тканин організму.

Тканинний коефіцієнт: для стовбурових шкіри становить  $W_T = 0,01$ ; для кровотворних клітин кісткового мозку  $W_T = 0,12$ ; для щитовидної залози  $W_T = 0,05$ ; для статевих залоз  $W_T = 0,20$  и т.д.

Таким чином, серед перерахованих тканин найбільший тканинний коефіцієнт був виявлений для статевих залоз. Це означає, що статеві клітини є найбільш чутливими в організмі людини і тварин до шкідливої дії іонізуючого випромінювання.

## **8. Прилади для здійснення радіаційного контролю.**

Створено чимало приладів для здійснення радіаційного контролю навколишнього середовища, об'єктів, матеріалів. Наприклад, радіометр «Кордон» - дозволяє виявляти нейтронне і гамма-випромінювання при дистанційному контролі транспорту і пішоходів (прилад має два канали детекції). Наприклад, радіометр РУГ-2001 - дозволяє визначити питому активність наступних природних радіонуклідів: торію (Th-232), радію (Ra-226), калію (K-40) і техногенних радіонуклідів: цезію (Cs-137), кобальту (Co-60).



Дозиметр-радіометр МКГ-01-0.2/1.

Прилад призначений: - для контролю радіаційної обстановки в тому числі на робочих місцях операторів рентгенівських установок (дифрактометри, рентгенівські установки для огляду багажу і товарів, рентгенодіагностичне обладнання і т.п.), - для пошуку плям радіоактивних забруднень, - для точних лабораторних досліджень, - для індивідуальної дозиметрії.

Прилад використовується персоналом радіологічних та ізотопних лабораторій, співробітниками митних, прикордонних та аварійних служб, цивільної оборони, охорони державних і комерційних установ, пожежної охорони, військових відомств, будівельних організацій та ін.



Дозиметри-радіометри МКГ-01-0.2 / 2 + зовнішній детектор.

Діапазон енергій гамма-випромінювання, МеВ 0,015 ... 3,0. Енергія реєстрованого бета випромінювання, МеВ більше 0,15. Діапазон вимірювання потужності еквівалентної дози, мкЗв / год 0,10 ... 1000. Діапазон вимірювання еквівалентної дози, мкЗв 0,10 ... 1000 000. Діапазон вимірювання щільності потоку бета частинок, 1/схсм $\cdot$ 178; 0,1 ... 200. Основна похибка вимірювання ПЕД, %  $\pm$ 15. Основна похибка вимірювання щільності потоку, %  $\pm$ 20.



20 квітня 2011 посадовими особами Находкінської митниці в зоні діяльності митного поста Морський порт Находка при проведенні радіаційного контролю японських товарів, які прибули на судні «Teddy Bear», було виявлено радіаційне забруднення на поверхні 7 легкових автомобілів і 1 маніпулятора. Перевищення радіаційного фону товарів становило від 2 до 7 разів вище природного фону.



Радіометр «Кордон».



Радіометр «Кордон» в пункті пропуску автомобільного транспорту.

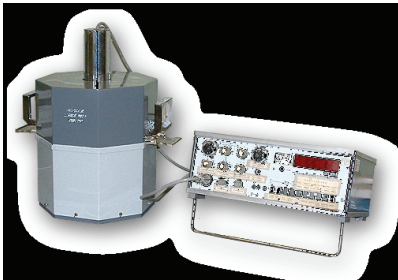
Радіометр нейтронного і гамма випромінювань РКС-02 «Кордон» - призначений для виявлення радіоактивних матеріалів при безперервному дистанційному контролі автомобільного і залізничного транспорту і вантажів, які в них знаходяться в пунктах пропуску державного кордону.



Радіометр «Кордон» в пункті пропуску залізничного транспорту.



Радіометр питомої активності РУГ-2001 призначений для оперативного визначення питомої активності природних радіонуклідів  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$  і техногенних радіонуклідів  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в пробах, що відбираються для хімічного аналізу плавок металургійних виробництв. Радіометр застосовується в лабораторіях радіологічного контролю металургійних комбінатів. В основу роботи радіометра покладено гамма-спектрометричний метод визначення вмісту радіонуклідів, заснований на вимірах розподілу амплітуд імпульсів від досліджуваних радіонуклідів в фіксованих енергетичних інтервалах.



Радіометр РУБ-01П6. Для експресного радіометричного визначення по гамма-випромінюванню питомої (УА) або об'ємної (ОА) активності радіонуклідів цезію у воді, ґрунті, продуктах харчування, продукції тваринництва і рослинництва за допомогою селективних сцинтиляційних радіометрів типу РУБ-01П6, РКГ-05П, РКГ-05ПМ і їх аналогів.

## **9. Нормативи іонізуючого випромінювання.**

Нормативні оцінки рівня іонізуючого випромінювання встановлюються окремо для живих організмів і окремо для матеріалів (сировини, вторсировини і т.н.).

а) для живих організмів - в нормі має дотримуватися основне правило: поглинена доза не повинна перевищувати гранично допустиму поглинену дозу для даного типу іонізуючого випромінювання і конкретного типу джерел надходження в організм іонізуючого випромінювання.

$$K_{\text{зо}} = \frac{\text{Поглинена доза}}{\text{Гранично допустима доза}} < 1$$

Розроблені нормативні таблиці (див. табл. 1-2) для іонізуючого випромінювання різного типу, яке надходить в організм людини: 1) від стаціонарних джерел; 2) перорально (тобто з їжею і водою); 3) інгаляційним шляхом (тобто з повітрям):



Таблиця 1.

Нормована величина	Дозові межі	
	Особи з персоналу (група А)*	Особи з населення (група Б)
Ефективна доза:	20 мЗв в рік в середньому за будь-які послідовні 5 років, але $\leq 50$ мЗв/рік	1 мЗв в рік в середньому за будь-які послідовні 5 років, але $\leq 5$ мЗв/рік
* Для осіб групи Б все дозові межі не повинні перевищувати 0,25 дозових меж для групи А.		

Таблиця 2.

Радіо-нуклід	Інгаляційний шлях:			Пероральний шлях:		
	Дозовий коефіцієнт, Зв/Бк	Межа річного надходження ППІнгал, Бк/год	Допустима об'ємна активність, Бк/м <sup>3</sup>	Дозовий коефіцієнт, Зв/Бк	Межа річного надходження ППперор, Бк/год	Допустима питома активність Бк/кг
Sr-90	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$4,2 \cdot 10^4$	5,7	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10$
I-131	$7,6 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10$
Cs-137	$4,8 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$7,7 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10$
Pu-239	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^1$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^3$	5,0

При одночасному впливі джерел зовнішнього і внутрішнього опромінення повинна виконуватися умова, щоб відношення річної дози зовнішнього опромінення до межі річної дози опромінення і відношення річних надходжень нуклідів інгаляційним і пероральним шляхами до їх річних меж - в сумі не перевищували 1:

$$\frac{E_{\text{зовн}}}{\text{ПГД}} + \frac{\sum(\text{Пінгал})}{(\text{ПГПінгал})} + \frac{\sum(\text{Пперор})}{(\text{ПГПперор})} \leq 1$$

Де:  $E_{\text{зовн}}$  – отримана річна ефективна доза від зовнішніх джерел; ПГД - межа річної ефективної дози; Пінгал, Пперор - річне надходження радіонуклідів інгаляційним і пероральним шляхами; ПГПінгал, ПГПперор - межа річного надходження радіонуклідів інгаляційним і пероральним шляхом.

б) нормативи для сировини і готової продукції – за даними радіометрів питома радіоактивності обчислюється сумарна ефективна питома активність радіонуклідів ( $A_{\text{ЕФ}}$ )(Бк/кг) в сировині або в готовій продукції:

$$A_{\text{ЕФ}} = A_{\text{Ra}} + 1,31 \cdot A_{\text{Th}} + 0,085 \cdot A_{\text{K}} + 0,36 \cdot A_{\text{Cs}}$$

Де:  $A_{\text{ЕФ}}$  – сумарна ефективна питома активність радіонуклідів, Бк/кг;  $A_{\text{Ra}}$ ,  $A_{\text{Th}}$ ,  $A_{\text{K}}$ ,  $A_{\text{Cs}}$  – питома активність відповідних радіонуклідів; 1,31; 0,085; 0,36 - вагові коефіцієнти, які відображають шкідливу дію радіонуклідів торію, калію, цезію в порівнянні з радіонуклідами радію (коефіцієнт пошкоджуючої дії якого прийнятий за одиницю).

Надалі, отримані дані порівнюються з нормативами для конкретного типу продукції або сировини. Наприклад, нормативи в будівництві: при  $A_{\text{ЕФ}} < 370$  Бк/кг, будівельні матеріали можна використовувати для всіх видів будівництва; при  $A_{\text{ЕФ}} = 370-740$  Бк/кг, будівельні матеріали можна використовувати для дорожнього і промислового будівництва; при  $A_{\text{ЕФ}} > 740$  Бк/кг, будівельні матеріали можна використовувати для промислових об'єктів, на яких не перебувають люди; для дорожнього будівництва поза населеними пунктами або в населених пунктах за умови покриття зверху іншими матеріалами товщиною не менше 0,5 м.

Нормативи в паперовій промисловості: для макулатури  $A_{\text{ЕФ}} < 555$  Бк/кг; для готового паперу  $A_{\text{ЕФ}} < 370$  Бк/кг.

**Контрольні питання:**

1. Поняття «іонізуюче випромінення». Типи іонізуючого випромінення. Джерела іонізуючого випромінення.
2. Біологічна дія природних доз іонізуючого випромінення.
3. Біологічна дія доз іонізуючого випромінення, які дещо перевищує природний фон. Поняття «радіаційний гормезис». Потенційна небезпека явища радіаційного гормезису.
4. Біологічна дія середніх та високих доз іонізуючого випромінення. Причини та наслідки не адаптації організмів до іонізуючого випромінення.
5. Основні дозиметричні величини: поглинена доза, еквівалентна доза, ефективна доза.
6. Біологічна дія радіонуклідів різного типу. Поняття активності радіонукліда та питомої активності радіонукліда.
7. Нормативи доз іонізуючого випромінення, отриманих живими організмами, та доз, які випромінюють матеріали та готова продукція.

**Література:**

1. Державні санітарні правила "Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України". 2005. <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>
2. Закон України "Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку".
3. Закон України "Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії".
4. Закон України "Про поводження з радіоактивними відходами".
5. Закон України "Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання".
6. Закон України "Про видобування і переробку уранових руд".
7. Постанова Кабінету Міністрів України від 06.12.2000 N 1782 "Про затвердження Порядку ліцензування окремих видів діяльності у сфері використання ядерної енергії".
8. Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.97 N 62 "Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України" (далі - НРБУ-97).
9. Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 12.07.2000 N 116 "Про затвердження значень гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України, доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення" (далі - НРБУ-97/Д-2000).
10. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 09.10.2000 N 247 "Про затвердження Тимчасового порядку проведення державної санітарно-гігієнічної експертизи", зареєстрований в Міністерстві юстиції України 10.01.2001 р. за N 4/5195.

## Лекція 8

### Тема: Геохімічна і біогеохімічна спеціалізація геосистем

#### 1. Поняття кларка. Визначення кларків хімічних елементів і кларків концентрації хімічних елементів.

Кларк - це середній вміст хімічного елемента в земній корі, виражений в % або в мг/кг.

$$K_i = \frac{m_i}{M} \quad \text{Де: } K_i - \text{ кларк } i\text{-го хімічного елемента (}\% \text{ або мг/кг);}$$
$$m_i - \text{ маса } i\text{-го хімічного елемента в земній корі;}$$
$$M - \text{ маса земної кори.}$$

Якщо необхідно оцінити, перевищує чи ні вміст будь-якого хімічного елемента на даній території його середній вміст в земній корі, обчислюють кларк концентрації хімічного елемента на даній території:

$$K_{ki} = \frac{C_{fi}}{K_i} \quad \text{Де: } K_{ki} - \text{ кларк концентрації } i\text{-го хімічного елемента для даного ландшафта;}$$
$$C_{fi} - \text{ фоновая концентрація } i\text{-го хімічного елемента для даного ландшафта;}$$
$$K_i - \text{ кларк } i\text{-го хімічного елемента.}$$

Таблиця. Кларки хімічних елементів (в масових процентах) для земної кори. Елементи розташовані у порядку зменшення їх розповсюдженості (фрагмент таблиці) (за <https://uk.wikipedia.org/wiki/>).

Номер з/п	Елемент	Кларк, мас. %
1.	<u>O</u>	49,5000
2.	<u>Si</u>	25,8000
3.	<u>Al</u>	7,5700
4.	<u>Fe</u>	4,7000
5.	<u>Ca</u>	3,3800
6.	<u>Na</u>	2,6300
7.	<u>K</u>	2,4100
8.	<u>Mg</u>	1,9500
9.	<u>H</u>	0,8800
10.	<u>Ti</u>	0,4100
11.	<u>Cl</u>	0,1900



*F. W. Clark*

Франк Уїгльсуорт Кларк  
(1847-1931)

Ф.У. Кларк першим розрахував середній склад земної кори. Середні концентрації елементів в геохімічних системах (літосфера, гідросфера, педосфера та ін.) з ініціативи академіка А.Є. Ферсмана названі на його честь кларками (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

#### 2. Позитивні і негативні геохімічні аномалії.

Фоновая концентрація  $i$ -го хімічного елемента в навколишньому середовищі ( $C_f$ ):

1) може відповідати кларку даного хімічного елемента (тобто, середньому вмісту цього хімічного елемента в земній корі):  $C_f = K_i$ ;

2) може перевищувати кларк даного хімічного елемента:  $C_f > K_i$ ;

Якщо перевищення - істотне, то в такому випадку говорять про позитивну геохімічну аномалію по  $i$ -му хімічному елементу для даного ландшафту.

3) може бути нижче кларку даного хімічного елемента:  $C_f < K_i$ .

Якщо дефіцит хімічного елемента в ландшафті значний, порівняно з величиною його кларка, в такому випадку говорять про негативну геохімічну аномалію по  $i$ -му хімічному елементу для даного ландшафту.

### **3. Поняття геохімічної спеціалізації ландшафту. Причини геохімічної спеціалізації ландшафтів.**

Геохімічна спеціалізація ландшафту - це характерний для даної території вміст хімічних елементів в земній корі. Причини геохімічної спеціалізації ландшафтів:

- 1) індивідуальний для даного ландшафту склад підстелюючих гірських порід;
- 2) індивідуальний для даного ландшафту тип ґрунтів, які формуються на даних підстелюючих гірських породах в даних кліматичних умовах;
- 3) характер міграції хімічних елементів в ґрунтах і в підстелюючих гірських породах даного ландшафту, який залежить від кліматичних умов на даній території (кількість опадів, температура навколишнього середовища), від типу біоти, характерної для даної геосистеми (живі організми спроможні перводити нерозчинні сполуки в розчинні і навпаки, що має істотний вплив на характер міграції речовин в геосистемі), від гідрологічного режиму на даній території (аридний, промивний, непромивний, випотний, водозастійний і т.н. гідрологічні режими по різному впливають на характер міграції речовин в геосистемі).

### **4. Типоморфні хімічні елементи. Класи геохімічних ландшафтів. Етапи складання геохімічної формули ландшафту. Використання інформації, що міститься в геохімічній формулі ландшафту в екологічних, медичних та агроландшафтних дослідженнях.**

Геохімічна спеціалізація кожного ландшафту відбивається в спеціальній формулі. Для складання геохімічної формули ландшафту:

- 1) Визначають, які хімічні елементи в даному ландшафті знаходяться в надлишку, а які - в нестачі. Для цього обчислюють кларк концентрації кожного хімічного елемента в даному ландшафті:

$$K_i = \frac{C_{fi}}{K_i} \quad \text{Где: } K_i - \text{ кларк концентрації } i\text{-го хімічного елемента для даного ландшафту; } C_{fi} - \text{ фоновая концентрація } i\text{-го хімічного елемента для даного ландшафту; } K_i - \text{ кларк } i\text{-го хімічного елемента.}$$

Якщо кларк концентрації хімічного елемента менше одиниці - такий хімічний елемент знаходиться в нестачі в даному ландшафті. Якщо кларк концентрації хімічного елемента більше одиниці - то такий хімічний елемент знаходиться в надлишку в даному ландшафті.

Хімічні елементи, які знаходяться в нестачі в даному ландшафті, заносяться в чисельник геохімічної формули, а хімічні елементи, які знаходяться в надлишку в даному ландшафті - виносяться в знаменник геохімічної формули ландшафту.

- 2) Визначають, які з цих хімічних елементів можуть активно мігрувати або активно накопичуватися в даних геохімічних умовах, і потім вносять ці хімічні елементи в геохімічну формулу (тобто, в геохімічну формулу ландшафту входять не всі хімічні елементи).

- 3) Визначають типоморфні для даного ландшафту хімічні елементи - тобто, хімічні елементи, від яких залежить характер міграції всіх інших хімічних елементів в даному ландшафті.

До типоморфних хімічних елементів відносять:

катиони:  $H^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Na^+$ ... та ін.

аніони:  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $OH^-$ ... та ін.

Саме типоморфні хімічні елементи визначають геохімічний клас кожного ландшафту.

Геохімічні класи ландшафтів:  $H^+$  - кислий ландшафт;  $Ca^{2+}$  - кальцієвий ландшафт;  $H^+Ca^{2+}$  - кисло-кальцієвий ландшафт;  $Fe^{2+}$  - глейовий ландшафт;  $H^+Fe^{2+}$  - кисло-глейовий ландшафт;  $H^+Ca^{2+}(Fe^{2+})$  - кисло-кальцієвий-слабоглейовий ландшафт;  $Ca^{2+}SO_4^{2-}$  - гіпсовий ландшафт;  $Na^+OH^-$  - содовий ландшафт;  $Na^+Cl^-$  - сольовий ландшафт і т.н.

Наприклад, геохімічна формула ландшафту:

$H^+ - Ca^{2+} Co_{(0.3)}, Cu_{(0.53)}, Ni_{(0.87)}$

$Ag_{(1,2)}, Zn_{(1,9)}$

читається наступним чином: ландшафт кисло-кальцієвий с дефіцитом Co, Cu, Ni і з надлишком Ag, Zn.

Інформація, укладена в геохімічну формулу ландшафту, може бути використана наступним чином:

1) при сільсько-господарському освоєнні території і в медичних дослідженнях - оскільки ці дані дозволяють оцінити можливості розвитку макро- і мікроелементозів у рослин, тварин, людей на даній території;

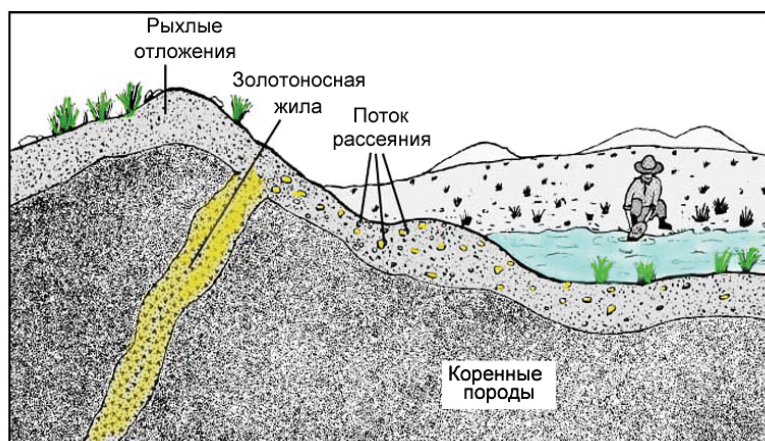
2) при екологічному прогнозуванні міграції / накопичення техногенних хімічних елементів в межах ландшафтів і т.н.



Олександр Ілліч Перельман (1916 -1998) – засновник вчення про міграцію та накопичення хімічних елементів в геосистемах. Сформулював правило типоморфності і принцип рухливих компонентів в геосистемах. Наукові розробки О.І. Перельмана дозволили систематизувати геохімічну обстановку в усіх природних компонентах.

**\*Використання геохімічного методу для пошуку родовищ корисних копалин.**

Геохімічний аналіз зразків підстелюючих порід дозволяє виявити не тільки ті родовища корисних копалин, які виходять на поверхню Землі, але також - встановити присутність покладів корисних копалин, що знаходяться в глибинах Землі. Вченими було встановлено, що навколо рудних родовищ в гірських породах розсіяна рудна речовина, поява якої викликана руйнуванням рудного тіла атмосферними опадами, вивітрюванням, глибинними процесами. Кількість цієї рудної речовини зменшується в міру віддалення від родовища.



Присутність практично будь-яких корисних копалин супроводжується ореолами основного елемента і елементів-супутників в різних природних середовищах, що може бути виявлено геохімічними методами пошуків (за <http://mos-test.ru/cat/mostest/solutions/Shahtha/Geochemistry-of-mineral-deposits/>).

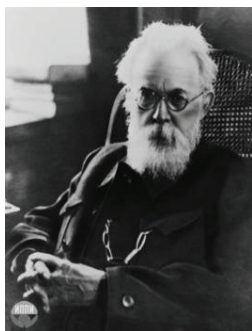
Такий розподіл рудної речовини навколо родовища називається ореолом розсіювання. В якості пошукових геохімічних ознак і використовуються ці ореоли розсіювання, що утворюють геохімічні аномалії рудних елементів. В результаті аналізу ореолів розсіювання виділяються перспективні об'єкти, визначається їх склад і рудна приналежність, оцінюються прогнозні ресурси корисних копалин (цитовано за <http://mos-test.ru/cat/mostest/solutions/Shahtha/Geochemistry-of-mineral-deposits/>).



Побудова геохімічних карт ореолів розсіювання основних і супутніх елементів дозволяє виявляти території з максимальною концентрацією таких елементів. Саме такі території є перспективними для видобутку корисних копалин (за <http://mos-test.ru/cat/mostest/solutions/Shahtha/Geochemistry-of-mineral-deposits/>).

**\*Парагенезис елементів** - це закономірне спільне знаходження хімічних елементів в мінералах і гірських породах, пов'язаних спільними умовами утворення. Поняття про парагенезис елементів ввів в 1909 р. В.І. Вернадський. Спільне знаходження хімічних елементів в природі обумовлено їх положенням у періодичній системі елементів Д.І. Менделєєва і фізико-хімічними умовами утворення певних асоціацій мінералів і гірських порід. Відомі численні типи парагенезиса елементів. Наприклад, встановлено, що Li, Be, Ta, W парагенетично пов'язані з кислими виверженими породами, а Cr, Ni, Pt - з основними і ультраосновними породами. У рудних родовищах характерним є парагенезис наступних елементів: Cu, Pb, Zn, Ag, Au; Sb, Hg, As; Sn, W, Mo; Ag, Co, Ni, U, Bi; S, Se, Te. Найбільш частим типом парагенезиса елементів є ізоморфні захоплення елементів-домішок в сполуках провідного хімічного елемента, наприклад постійне перебування в сульфіді цинку (сфалерит) домішок Cd, Ga, In і Tl або в солях калію (наприклад, карналіті) - Rb і Cs і т.п.

В.І. Вернадський в 1909 р. розташував хімічні елементи в ізоморфні ряди і показав, що в цих рядах парагенезис елементів отримав найбільш повне вираження. Наприклад, при радіоактивному розпаді урану в його мінералах знаходяться продукти цього розпаду - Ra, He, Pb і ін. Певні парагенетичні відносини хімічних елементів існують в осадових породах, мінеральних водах, в вулканічних викидах і т.н. Крім парагенних розрізняють заборонені асоціації елементів (негативний парагенезис), тобто асоціації, неможливі в даній системі. Прикладом негативного парагенезиса служать Ni і Ba в мінералах, Cr і U в рудах, Cu і Mn в осадових формаціях. Знання парагенетичних і заборонених асоціацій - важлива передумова пошуку корисних копалин (за Большая Советская Энциклопедия М.: "Советская энциклопедия", 1969-1978; [https://studopedia.su/10\\_37828\\_tipomorfnie-vedushchie-elementi-printsip-podvizhnih-komponentov.html](https://studopedia.su/10_37828_tipomorfnie-vedushchie-elementi-printsip-podvizhnih-komponentov.html)).



В.І. Вернадським розроблялося вчення про парагенезис елементів. На сьогоднішній день знання парагенетичних і заборонених асоціацій – є важливою передумовою пошуку корисних копалин.

В.І. Вернадський (1863 – 1945 рр.)  
(за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

## **5. Поняття біогеохімічної спеціалізації ландшафту.**

Надлишок, нестача або дисбаланс хімічних елементів у навколишньому середовищі призводить до розвитку захворювань у живих організмів - рослин, тварин і людей. У зв'язку з цим, виникла необхідність введення терміна «біогеохімічна спеціалізація ландшафту». Біогеохімічна спеціалізація ландшафту - це співвідношення хімічних елементів, характерне для даного ландшафту, і вплив цього співвідношення на життєдіяльність організмів.

## **6. Медико-екологічні наслідки біогеохімічної спеціалізації ландшафтів: мікроелементози, хронічні ендемічні захворювання, інфекційні ендемічні захворювання.**

Медико-екологічні наслідки біогеохімічної спеціалізації ландшафтів можуть проявлятися:

1) у формі хронічних ендемічних захворювань живих організмів на даній території. Наприклад, дослідження показали приуроченість багатьох хронічних серцево-судинних захворювань, хвороб печінки, нирок, шлунка і т.н. до тих чи інших типів геохімічних ландшафтів.

2) у формі ендемічних інфекційних захворювань живих організмів на даній території. Відомо, що вміст хімічних елементів в ґрунтах, воді і т.п. впливає: на життєдіяльність патогенних організмів - збудників інфекційних захворювань рослин, тварин, людини; і на життєдіяльність переносників інфекційних захворювань - кліщів, гризунів і т.н.

Зокрема, було встановлено роль біогеохімічних умов в появі природних спалахів чуми, кліщового енцефаліту, сказу, сибірської виразки, лептоспірозу, ку-лихоманки і т.н. Наприклад, локальні спалахи сказу приурочені до ландшафтів, дефіцитних по титану, нікелю, цирконію; спалахи сибірської виразки відзначені в ландшафтах з надмірним вмістом титану і т.н.

3) у формі мікроелементозів. Наприклад, дефіцит йоду у воді і в продуктах харчування призводить до розвитку ендемічного зобу, який супроводжується затримкою фізичного і психічного розвитку у дітей; надлишок селену – призводить до розвитку селенозу (симптоми: дисфункція печінки, нервові розлади, облісіння) і т.н.



Ендемічний зоб - мікроелементоз, пов'язаний з нестачею йоду в навколишньому середовищі (за <https://yandex.fr/images/search?text>).



Уровська хвороба - мікроелементоз, пов'язаний з надлишком стронцію і нестачею кальцію в навколишньому середовищі (за <https://yandex.fr/images/search?text>).

## **7. Мікроелементози. Типи мікроелементозів: природні, техногенні, аліментарні.**

Мікроелементози - це захворювання живих організмів (рослин, тварин, людини), викликані надлишком, нестачею або дисбалансом мікроелементів у навколишньому середовищі.

За походженням мікроелементози бувають:

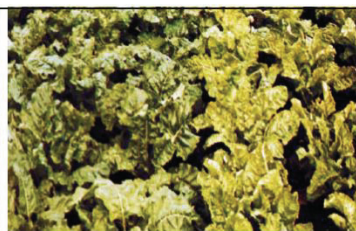
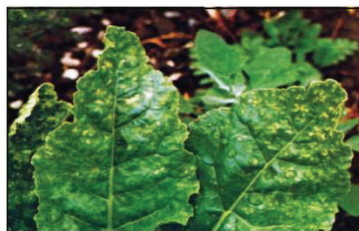
- 1) природні - пов'язані з геохімічною спеціалізацією ландшафтів;
- 2) техногенні - пов'язані з викидами забруднюючих речовин підприємствами і т.п.;
- 3) аліментарні - пов'язані з незбалансованим харчуванням людини, сільськогосподарських тварин, сільськогосподарських рослин (підживлення).



Нікелева екзема і нікелева сліпота розвиваються у корів в регіонах з надлишком нікелю в навколишньому середовищі (за <http://diseasescattle.ru/narusheniya-obmena-veshhestv/izbytok-nikelya.html>).



Симптоми дефіциту міді у рослин (за [http://agrostory.com/agronomists/mikroelementy-med/?sphrase\\_id=1024289](http://agrostory.com/agronomists/mikroelementy-med/?sphrase_id=1024289)).



Недостаток марганця на листях сахарной свеклы

Пошкодження листя цукрових буряків, викликані недостатньою кількістю марганцю в навколишньому середовищі (за <https://yandex.fr/images/search?text>).

Фенотипічний (зовнішній, симптоматичний) прояв мікроелементозу залежить від дози і тривалості надходження (або ненадходження) того чи іншого хімічного елемента в живий організм.



Хвороба Мінамата пов'язана з техногенним забрудненням ртуттю природних вод затоки Мінамата, Японія: вживання в їжу риби, що накопичила сполуки ртуті, призводить до тяжких отруєнь і смерті людей (за <https://yandex.fr/images/search?text>).



Хвороба ітай-ітай є результатом отруєння жителів Японії (префектура Тояма) сполуками кадмію, які потрапляють в рисові чеки зі стічними водами гірничо-рудних підприємств (за <https://yandex.fr/images/search?text>).

Зазвичай, природні мікроелементози викликані хронічним надходженням (або не надходженням) в організм в малих кількостях того чи іншого елемента. Тоді як техногенні мікроелементози найчастіше викликані відносно короткочасним впливом досить високих доз мікроелементів на живі організми. Приклади природних і техногенних мікроелементозів наведені в таблицях 1 і 2.



**8. Поняття абсолютного і відносного дефіциту/надлишку мікроелемента в навколишньому середовищі. Біогеохімічна формула. Порухення оптимального співвідношення між мікроелементами при виникненні мікроелементозів.**

Проведені дослідження показали, що більшість ендемічних захворювань в першу чергу викликана дисбалансом хімічних елементів в живому організмі, а не абсолютним дефіцитом або надлишком цих елементів. Наприклад, багато десятиків років було відомо про те, що дефіцит йоду у воді і в харчових продуктах призводить до розвитку ендемічного зобу. Однак, не на всіх територіях додавання йоду в сіль і в інші продукти допомагало уникнути розвитку даного захворювання. Чому? Виявляється, для нормального засвоєння йоду живими клітинами необхідна одночасна присутність у воді і харчових продуктах також кобальту і міді. Тобто, в деяких випадках, йод може бути присутнім в достатній кількості в навколишньому середовищі, але через дефіцит кобальту і міді він не може засвоюватися живими клітинами. Тому, при описі мікроелементозів, прийнято говорити про абсолютний і про відносний надлишок (або нестачу) мікроелемента в навколишньому середовищі:

1) абсолютний дефіцит або надлишок хімічного елемента в навколишньому середовищі - це ситуація реальної відсутності або надлишку хімічного елемента у воді, ґрунті, біоті;

2) відносний дефіцит або надлишок хімічного елемента в навколишньому середовищі - це ситуація, в якій хімічний елемент присутній в достатній кількості в навколишньому середовищі, однак він не може використовуватися клітинами через дисбаланс інших хімічних елементів.

Біогеохімічна формула - відображає біологічно значуще співвідношення між хімічними елементами в навколишньому середовищі. У чисельник формули виноситься елемент, який знаходиться в нестачі, а в знаменник формули виноситься елемент, який знаходиться в надлишку. Якщо нестача або надлишок хімічного елемента є відносним, відповідний хімічний елемент заключають в круглі дужки.

Наприклад, біогеохімічна формула:

$(Cu^{2+})$  - відображає ситуацію відносного дефіциту міді в клітинах через те, що  
 $Al^{3+}$  надлишок алюмінію перешкоджає заходу міді в клітини.

$(Mo^{2+})$  - відображає ситуацію, коли надлишок міді в клітинах рослини пригнічує роботу  
 $Cu^{2+}$  молібденових ферментів, т. е. створює ситуацію відносного дефіциту молібдену в клітинах.

$I$  \_\_\_\_\_ - відображає ситуацію абсолютного дефіциту йоду в живих клітинах  
 .....

$(I), Co^{2+}, Cu^{2+}$  - відображає ситуацію відносного дефіциту йоду в клітинах через  
 ..... абсолютний дефіцит кобальту і міді (при відсутності кобальту і міді не працюють ферментні системи, які забезпечують включення йоду у внутрішньоклітинні процеси).

Таблиця 1.

Хімічний елемент	Ендемічні захворювання	
	нестача рухомих форм елемента в ґрунтах, воді:	надлишок рухомих форм елемента в ґрунтах, в воді:
Кобальт (Co)	Гіпокобальтози: порушення еритропоезу, розвиток анемії, розвиток авітамінозу B12, захворювання «сухоткою» молодняка і його загибель, кісткова дистрофія і виснаження організму	Пригнічення синтезу вітаміну B12
Молібден (Mo)	Строкатість листя томату і їх згорання, нитчатість листя цвітної	Молібденовий токсикоз у тварин: діарея, виснаження організму, остеопороз.

	капусти	Ендемічна молібденова подагра у людей: порушення метаболізму АТФ, дистрофія печінки, нирок, серця.
Мідь (Cu)	Гіпокупрози: ендемічна анемія, зниження імунітету, атаксія у тварин (порушення координації рухів, парези, паралічі), суховерхів`я плодових дерев.	Ендемічні анемії. Гемолітична жовтяниця, ураження печінки. Хлорози у рослин.
Бор (B)	Борне голодання у рослин: не утворюються квіти, знижується імунітет – рослини хворіють серцевинною та сухою гниллю, бактеріозом.	Ендемічний борний ентерит, діарея, ураження нирок, мозку. Внаслідок порушення роботи протеолітичних ферментів починається самоотруєння організму. Рослини – низькорослі, розпластані або кустисті форми.
Йод (I)	Ендемічний зоб (затримка фізичного і психічного розвитку)	-
Селен (Se)	Дистрофія підшлункової залози і печінки, порушення обміну жирів, розвиток т.з. білом`язової хвороби – дистрофія м`язів.	Деформація копит, облісіння овець, артрити, дегенерація печінки, гастроентерити, нервові розлади
Цинк (Zn)	Припинення росту тварин, карликовість, гальмування полового дозрівання, паракератоз (потовщення шкіри) тварин, облісіння. Розеткова хвороба плодових дерев, строкатість листя у цитрусових.	Анемії у тварин
Марганець (Mn)	Порушення репродуктивної функції, деформація кісток і суглобів (т.з. ковзаючий суглоб). Некрози і хлорози у рослин.	Захворювання кісткової системи. Інтотоксикації у рослин.
Стронцій (Sr)	-	Потворні форми у рослин. Уровська хвороба (рахіти, ламкість кісток). Хондро- і остеодинтрофії.
Фтор (F)	Карієс зубів. Дистрофічні зміни кісток.	Флюороз (руйнування емалі зубів). Порушення роботи печінки і ендокринних залоз. Викривлення хребту і кінцівок.
Літій (Li)	Маніакально-депресивні психози, шизофренія та інш. психічні захворювання.	-
Нікель (Ni)	Активація природних очагів вірусу сказу і збудника ку-ліхорадки.	Захворювання очей (нікілева сліпота, кератокон`юктивити, катаракта). Розвиток аутоімунних захворювань усіх органів. Тромбоутворення. Очагове омертвіння тканин.
Титан (Ti)	Активація природних очагів вірусу сказу і збудника ку-ліхорадки.	Активація природних очагів збудника сибірки.
Цирконій (Zr)	Активація природних очагів вірусу сказу.	-
Бром (Br)	-	Захворювання шлунково-кишкового тракту.
Залізо (Fe)	Анемії (зниження рівню гемоглобіну і кількості еритроцитів крові).	Гемохроматоз (відкладання заліза в клітинах і тканинах).
Свинець (Pb)	-	Розлади роботи нервової системи (цефалгії, міалгії)
Нітрати (NO <sub>3</sub> )	-	Ендемічна метгемоглобінемія.

Таблиця 2. Техногенне забруднення навколишнього середовища і його наслідки для здоров'я людини.

Хімічна речовина:	Джерела надходження в навколишнє середовище:	Вплив на здоров'я людини:
Миш'як (As)	Промислове виробництво, пестициди, добрива, пиво.	Загальна інтоксикація. Захворювання травного тракту. Рак легенів і шкіри.
Залізо (Fe)	Промислове виробництво.	Цироз печінки. Геморагічний некроз і відшарування ділянок слизової оболонки шлунка. Патології кровоносної системи.
Кадмій (Cd)	Виробництво кольорових металів, будматеріалів, барвників. Добрива, пестициди. Вихлопні гази машин.	Мутагенна та канцерогенна дія на спадковий апарат. Рак передміхурової залози. Порушення вуглеводного і фосфорно-кальцієвого обміну в організмі (захворювання ітай-ітай - деформація скелета і зморщування тіла).
Кобальт (Co)	Стічні води підприємств.	Загальна інтоксикація організму. Серцева недостатність. При вдиханні аерозолів - захворювання легенів.
Марганець (Mn)	Машинобудування. Виплавка металів. Виробництво будматеріалів, лінолеуму, сірників і т.н.	Прогресуюче пошкодження центральної нервової системи. Розвиток синдрому Паркінсона. При вдиханні аерозолів - пневмонії.
Мідь (Cu)	Промислове виробництво. Спалювання вугілля. Добрива на полях.	Загальна інтоксикація організму. Анемія. Гепатити. Цироз печінки.
Молібден (Mo)	Виробництво скла, барвників. Виплавка металів.	Пошкодження центральної нервової системи. Остеопороз кісток. Розлад роботи печінки і нирок.
Нікель (Ni)	Виробництво нікельованих виробів, будматеріалів. Машинобудування.	Загальна інтоксикація. Екзема. При вдиханні аерозолів - алергії, рак бронхів.
Свинець (Pb)	Виплавка металів. Транспорт. Хімічна промисловість. Виробництво будматеріалів.	Пошкодження центральної нервової системи, печінки, нирок. Блокування синтезу гемоглобіну - розвиток анемії. Порушення обміну кальцію - розвиток рахіту у дітей. Порушення слуху. Розвиток вродженої потворності у немовлят.
Сполуки азоту (нітрати, нітри-ти, оксид азоту)	Добрива. Пестициди. Відходи тваринництва. Продукти метаболізму звалищ.	Метгемоглобінемія. Мутагенний та тератогенний вплив на клітини організму. Розвиток ракових захворювань.
Фтор (F)	Машинобудування. Алюмінієва промисловість. Добрива. Викиди теплових електростанцій. Виробництво цементу.	Захворювання дихальних шляхів, специфічне ушкодження шкіри. Загальна інтоксикація організму. Пошкодження зубів і кісткової тканини.
Хром (Cr)	Чорна металургія. Машинобудування. Виробництво барвників. Легка промисловість.	При вдиханні аерозолів - рак бронхів.
Цинк (Zn)	Виробництво будматеріалів. Машинобудування. Чорна металургія.	Загальне отруєння. Ерозія слизової шлунка. Лихоманка, нудота, блювота.
Алюміній (Al)	Алюмінієва промисловість. Ліки. Харчові добавки. Питна вода (сульфат алюмінію використовують в процесах водопідготовки в якості коагулянту).	Порушення роботи нервової системи. Хвороба Альцгеймера. Хвороба Паркінсона. Психо-емоційні розлади. Аміотрофічний склероз.
Ртуть (Hg)	Хімічна промисловість, виробництво цементу.	Порушення психіки. Втрата чутливості шкіри, порушення слуху, зору. Судоми. Гостра ниркова недостатність. Серцево-

		судинний колапс.
Хлорорганічні сполуки (ДДТ і ін.)	Пестициди. Інсектициди.	Загальна інтоксикація організму. Мутагенність.
Хлор (Cl)	Хлорування питної води	Утворені при хлоруванні води хлорорганічні сполуки можуть викликати захворювання печінки, нирок, розвиток злоякісних пухлин, появу вродженої потворності немовлят.
Ароматичні вуглеводні (бензол, фенол та ін.)	Чорна металургія. Машинобудування. Хімічна та нафтохімічна промисловість. Виробництво будматеріалів.	Розвиток злоякісних захворювань.

### **9. Принципи поділу територій на біогеохімічні зони і біогеохімічні провінції.**

Біогеохімічна спеціалізація ландшафту визначається складом підстелюючих гірських порід і кліматичними умовами на даній території. Зокрема, широтна зональність в розподілі сонячної радіації, кількості опадів тощо призводить до зональності складу біоти і, відповідно, до зональності ґрунтоутворюючих процесів, до зональності процесів вивітрювання гірських порід, до зональності абіогенної і біогенної міграції хімічних елементів і т.н.

#### Біогеохімічні зони виділяють на підставі:

- зональності ґрунтоутворюючих процесів;
- зональності кліматичних факторів;
- зональності абіогенної міграції хімічних елементів;
- зональності біогенної міграції хімічних елементів;
- характеру біологічних реакцій організмів на геохімічні і фізичні фактори навколишнього середовища.

Так, на території колишнього Радянського Союзу виділяють чотири біогеохімічні зони, кожна з яких характеризується своїм балансом хімічних елементів і їх впливом на живі організми (див. таблицю):

- I. Тайгова-лісова нечорноземна біогеохімічна зона.
- II. Лісостепова, степова чорноземна біогеохімічна зона.
- III. Сухостепова, напівпустельна, пустельна біогеохімічна зона.
- IV. Гірські біогеохімічні зони.

Біогеохімічні зони поділяють на біогеохімічні провінції на підставі поєднання зональних і азональних характеристик території. При цьому основною азональною характеристикою території є склад підстелюючих гірських порід. Для кожної біогеохімічної провінції в першу чергу встановлюють вміст рухомих форм хімічних елементів в ґрунтах і в воді, що дозволяє виявити території:

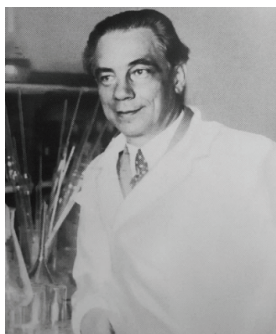
- з ризикованим землеробством (ризика розвитку ендемічних захворювань у рослин);
- з ризикованим тваринництвом (ризика розвитку ендемічних захворювань у тварин);
- з ризиками розвитку ендемічних захворювань у людей.

Назва біогеохімічної провінції визначається назвою ендемічних захворювань, характерних для даної біогеохімічної провінції. Наприклад, виділяють провінції ендемічного зобу (дефіцитні по йоду), провінції уровської хвороби (дефіцит кальцію при надлишку стронцію і барію) і т.н. (див. таблицю 3).

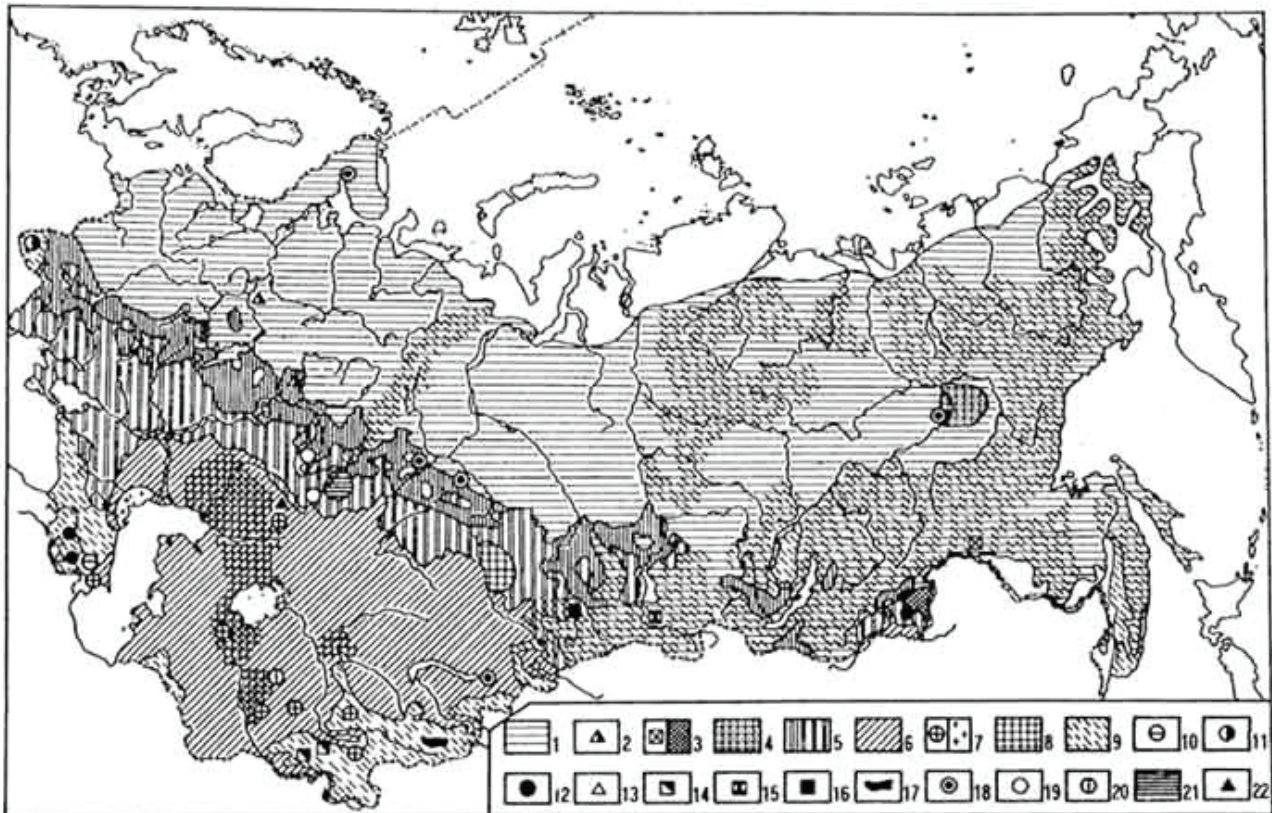
Таблиця 3.

Вміст рухомих форм хімічних елементів в ґрунтах і воді:	Типи біогеохімічних провінцій:
<b>I. Тайгово-лісова</b>	<b>нечорноземна біогеохімічна зона</b>
<b>Нестача елементів:</b>	

Кальція (Ca)	-
Фосфору (P)	-
Кобальту (Co)	Провінції з гіпокобальтозами
Міді (Cu)	Провінції з гіпокупрозами
Йоду (I)	Провінції ендемічного зобу
Молибдену (Mo)	Провінції з дефіцитом молибдену
Бору (B)	Провінції борного голодування
Цинку (Zn)	Провінції з дефіцитом цинку
Селену (Se)	Провінції з дефіцитом селену
<b>Надлишок елементів:</b>	
Стронцій (Sr)	Провінції уровської хвороби
<b>II. Лісостепова і степова чорноземна біогеохімічна зона</b>	
<b>Нестача елементів:</b>	
Марганець (Mn)	Провінції з дефіцитом марганцю
<b>III. Сухостепова, напівпустельна, пустельна біогеохімічна зона</b>	
<b>Нестача елементів:</b>	
Міді (Cu)	Провінції з гіпокупрозами
Кобальту (Co)	Провінції з гіпокобальтозами
Йоду (I)	Провінції ендемічного зобу
Марганцю (Mn)	Провінції дефіцитні за марганцем
<b>Надлишок елементів :</b>	
Сульфати (SO <sub>4</sub> )	-
Бор (B)	Провінції ендемічного борного ентериту
Цинк (Zn)	Провінції цинкової анемії
Стронцій (Sr)	Провінції уровської хвороби
Молибден (Mo)	Провінції ендемічного молибденового токсикозу
Натрій (Na)	-
Нітрати (NO <sub>3</sub> )	Провінції ендемічної метгемоглобінемії
<b>IV. Гірські біогеохімічні зони</b>	
<b>Нестача елементів:</b>	
Йоду (I)	Провінції ендемічного зобу
Кобальту (Co)	Провінції з гіпокобальтозами
Міді (Cu)	Провінції з гіпокупрозами
Цинку (Zn)	Провінції з дефіцитом цинку (провінції ендемічні за паракератозом)
<b>Надлишок елементів:</b>	
Свинцю (Pb)	Провінції ендемічні за свинцевим токсикозом
Міді (Cu)	Провінції з ендемічними мідними анеміями
Цинку (Zn)	Провінції з ендемічними цинковими анеміями
Кобальту (Co)	Провінції ендемічні за кобальтовим токсикозом
Молибдену (Mo)	Провінції ендемічні за молибденовим токсикозом і молибденовою подагрою
Стронцію (Sr)	Провінції уровської хвороби



**Віктор Владиславович Ковальський (1899 – 1984)** - засновник наукової школи з геохімічної екології та континентальної біогеохімії. Один з основоположників вчення про мікроелементи. Створив новий напрям - геохімічну екологію організмів. Розробив вчення про біогеохімічне районування біосфери, вчення про порогові концентрації хімічних елементів, біогеохімічний метод визначення потреби тваринного організму в мікроелементах. Склали карти біогеохімічних провінцій і біогеохімічного районування, описав ряд ендемічних захворювань тварин і людини (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Біогеохімічні зони на частині території Євразії (за В.В. Ковальським; цитовано за <https://yandex.fr/images/search?text>).

Де: **Тайгово-лісова нечорноземна зона.** Біологічні реакції визначаються нестачею кальцію, фосфору, калію, кобальту, міді, йоду, молібдену, бору і цинку. Марганець міститься в достатній кількості, а стронцій - в надлишку, особливо в заплавах річок. У зоні розрізняють чотири провінції: 1 - провінції, бідні кобальтом, міддю, йодом, кальцієм і фосфором. У тварин цих провінцій порушений обмін речовин, що викликано нестачею перерахованих елементів; 2 - провінції, бідні йодом і кобальтом; 3 - провінції, збагачені стронцієм, але бідні кальцієм; 4 - провінції з нормальним вмістом міді і кобальту, а також збагачені бором і стронцієм на мерзлотних ґрунтах.

**Лісостепова і степова чорноземна зона** (див. легенду 5). Біологічні реакції організмів тут визначаються достатньою кількістю кальцію, кобальту, міді і марганцю, збалансованістю йоду, цинку і молібдену з іншими елементами, іноді нестачею калію, рідше - бору, частіше - фосфору.

**Сухостепова, пустельна, напівпустельна зона** (див. легенду 6). Біологічні реакції організмів в цій зоні визначаються підвищеним вмістом сульфатів, бору, цинку (часто стронцію), високим вмістом молібдену, низьким - йоду, міді, іноді кобальту, на територіях пустель - надлишком нітритів і нітратів. Крім того, тут є провінції, що зберігають ознаки зони і мають властивості, характерні для певних територій: 7 - провінції з відносно недостатнім вмістом міді, надлишком молібдену і сульфатів; 8 - провінції, багаті бором; зустрічаються провінції, бідні йодом і цинком.

**Гірські зони** (див. легенду 9). Біологічні реакції в гірських зонах визначаються підвищеним вмістом або нестачею різних елементів, найчастіше йоду і надлишком кобальту.

**Біогеохімічні провінції, ознаки яких не відповідають характеристикам зон** (див. легенду 10-22). Ці провінції зустрічаються в різних зонах: 10 - багаті кобальтом; 11 - бідні йодом і марганцем; 12 - багаті свинцем; 13 - багаті молібденом; 14 - багаті кальцієм і стронцієм; 15 - збагачені селеном; 16 - з порушеним співвідношенням міді, молібдену і свинцю; 17 - багаті рідкісними елементами; 18 - з надлишком фтору; 19 - збагачені міддю; 20 - з порушеним обміном міді; 21 - багаті нікелем, магнієм, стронцієм, бідні кобальтом і марганцем; 22 - багаті нікелем. Наведені вище дані слід враховувати при складанні раціонів харчування, проведенні профілактичних заходів в тваринництві та лікуванні хворих тварин в різних зонах і провінціях означених територій (цитовано за <https://yandex.fr/images/search?text>).

### Контрольні питання:

1. Поняття кларка. Визначення кларків хімічних елементів і кларків концентрації хімічних елементів.

2. Позитивні і негативні геохімічні аномалії.
3. Поняття геохімічної спеціалізації ландшафту. Причини геохімічної спеціалізації ландшафтів.
4. Типоморфні хімічні елементи. Класи геохімічних ландшафтів. Етапи складання геохімічної формули ландшафту.
5. Використання інформації, що містяться в геохімічній формулі ландшафту в екологічних, медичних та агроландшафтних дослідженнях.
6. Використання геохімічного методу для пошуку родовищ корисних копалин. Поняття про парагенезис елементів.
5. Поняття біогеохімічної спеціалізації ландшафту. Медико-екологічні наслідки біогеохімічної спеціалізації ландшафтів.
6. Мікроелементози. Типи мікроелементозів.
7. Поняття абсолютного і відносного дефіциту/надлишку мікроелемента в навколишньому середовищі. Біогеохімічна формула.
8. Принципи поділу територій на біогеохімічні зони і біогеохімічні провінції.

### **Література:**

1. Авцын А.П., Жаворонков А.Я., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. – М.: Медицина, 1991.
2. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и их роль в органической эволюции // Геохимия. - 1963. - № 3.
3. Гаврилова И.П. Ландшафтно-геохимическое картографирование. - М.: Изд-во Моск. унта, 1985. - 149 с.
4. Гетьман В.И. К вопросу изучения биогенной миграции как важнейшей геохимической особенности ландшафтов. - В ют: Природные условия Украинской ССР. - К., 1987. -С. 66-71.
5. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М., 1964.
6. Глазовская М.А. Прикладное и общее (базовое) ландшафтно-геохимическое районирование // Вопросы географии. - М., 1983. -Сб. 120. - С. 11-19.
7. Гриневецкий В.Т. Стационарні геофізичні і геохімічні дослідження ландшафтів Київського Полісся / В.Т. Гриневецкий, О. М. Маринич, Л. М. Шевченко. - К., 1994. - 108 с.
8. Гуцуляк В. М. Геохімія ландшафту: Навч. посібник / В.М. Гуцуляк. - Чернівці: Рута, 2004. - 83 с.
9. Гуцуляк В.М. Основы ландшафтознания: Навч. посібник / В.М. Гуцуляк. - К.: НМК ВО, 1992. - 60 с.
10. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: Учебное пособие для геогр., биол., с.-х. спец Вузов. – М.: Высш. Шк., 1998. – 413 с.
11. Исаченко А.Г. Методы прикладных ландшафтных исследований / А.Г. Исаченко. – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
12. Малишева Л.Л. Геохімія ландшафтів К.: Либідь, 2000. - 472 с.
13. Малишева Л.Л. Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій. - К.: Вид-во Київського ун-ту, 1998. - 264 с.
14. Мицкевич Б.Ф., Сущик Ю.Я. Основы ландшафтно-геохимического районирования. - К.: Наукова думка, 1981. - 174 с.
15. Ноздрюхина Л.Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. – М.: Мир, 1997.
16. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. - Москва: Высшая школа, 1966. – 392 с.
17. Польшов Б.Б. Геохимические ландшафты. В кн.: Избр. Труды, М., 1956.

## Лекція 9

### Тема: Геохімічне антропогенне навантаження на екосистеми

#### Частина 1. Методи встановлення вмісту неорганічних та органічних речовин в пробах води, повітря, ґрунтів та в зразках тканин організмів.

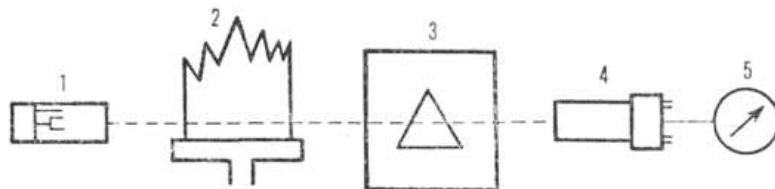
##### 1. Методи встановлення вмісту важких металів в пробах води, повітря, ґрунтів та в зразках тканин організмів.

Вміст металів в пробах води, повітря, ґрунтів та в зразках тканин організмів встановлюють за допомогою атомно-абсорбційного аналізу.

Атомно-абсорбційний аналіз (атомна спектрометрія) – це метод аналізу присутності хімічних елементів в пробі по атомним спектрам поглинання (абсорбція). Атоми хімічних елементів здатні поглинати кванти світла. При цьому спектр поглинання – індивідуальний для кожного хімічного елементу, оскільки електромагнітна світлова хвиля поглинається електронами атомів, а атом кожного хімічного елементу має індивідуальну кількість електронів.

Пробу води, повітря, ґрунту або зразок тканини організму поміщають в камеру атомізатора і нагрівають до температури  $+2000^{\circ}\text{C}+3000^{\circ}\text{C}$ . Якщо камера атомізатора забезпечена пальником, то температуру в камері підвищують за рахунок відкритого полум'я горіння суміші ацетилену і повітря. Температура в таких камерах, як правило, досягає  $+2000^{\circ}\text{C}$ . Атомізатор може бути забезпечений графітовою піччю і тоді температуру в камері можна підвищити до  $+3000^{\circ}\text{C}$ . Нагрівання проби до  $+2000^{\circ}\text{C}+3000^{\circ}\text{C}$  дозволяє перевести речовини, що знаходяться в молекулярних і кристалічних ґратках, в атомарний стан. Потім крізь атомізовану пробу пропускають світловий пучок в діапазоні довжин хвиль від  $\lambda=190$  нм до  $\lambda=850$  нм. В результаті поглинання квантів світла атоми переходять в збуджений стан. Цим переходам в атомних спектрах поглинання відповідають т.з. резонансні лінії, характерні для даного елементу.

Пучок світла, що вийшов з камери атомізатора, передається на приймаючий пристрій, який аналізує його інтенсивність і спектральну область поглинання.



Принципова схема полум'яного атомно-абсорбційного спектрометра: 1 - джерело випромінювання; 2 - полум'я; 3 - монохроматор; 4 - фотоумножувач; 5 - реєструючий прилад (за <http://mirznanii.com/a/189237/atomno-absorbtsionnyu-analiz>).

Згідно закону Бугера-Ламберта-Бера, мірою концентрації хімічного елементу служить оптична щільність ( $A$ ):  $A=\lg(I/I_0)$ , де  $I_0$  і  $I$  - це інтенсивність випромінювання від джерела відповідно до і після його проходження крізь пробу.

Перевагами атомно-абсорбційного аналізу є його простота, висока селективність і малий вплив складу проби на результат аналізу. Обмеження методу – неможливість одночасного визначення декількох елементів при використанні лінійчатих джерел випромінювання.

Атомно-абсорбційний аналіз застосовують для визначення близько 70 елементів (головним чином – металів). Не визначають гази і деякі інші неметали, резонансні лінії яких лежать у вакуумній області спектру (довжина хвилі менше 190 нм). Якщо атомізацію проби здійснюють за допомогою графітової печі – то в таких пробах стає неможливим визначення Hf, Nb, Ta, W і Zr, які утворюють з вуглецем важколетючі карбіди.



Межі виявлення більшості елементів в розчинах при атомізації в полум'ї – 1-100 мкг/кг, в графітовій печі – 0,1-100 нг/кг. Відносне стандартне відхилення в оптимальних умовах вимірювань досягає 0,2-0,5% для відкритого полум'я і 0,5-1,0% для графітової печі. В автоматичному режимі роботи полум'яний спектрометр дозволяє аналізувати до 500 проб в годину, а спектрометр з графітовою піччю – до 30 проб в годину.

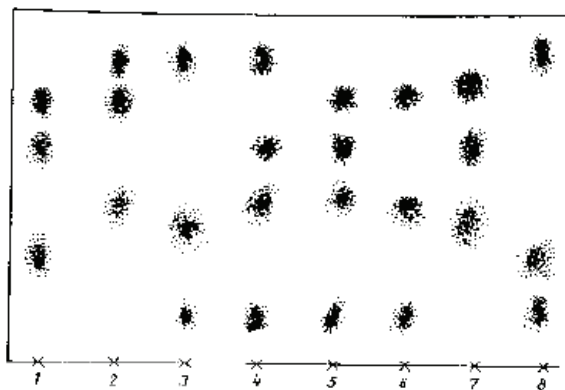
## **2. Методи виявлення органічних забруднюючих речовин в пробах води, повітря, ґрунтів, в тканинах організмів.**

Органічні забруднюючі речовини, які потрапляють до води, повітря, ґрунтів або в живі організми, зазвичай, знаходяться у вигляді складних сумішей. Тому, першим етапом ідентифікації органічних полютантів є розділення складних сумішей на їх компоненти. Хроматографія – це система методів, які дозволяють розділити суміші речовин. Принцип розділення сумішей полягає у тому, що різні речовини мають різну: розчинність, масу та розміри молекул, летючість, заряди молекул, різні хімічно активні групи і т.п.

### Тонкошарова хроматографія:

- пористий матеріал виготовляють у вигляді тонкої пористої пластинки (зазвичай, використовують силікагель);
- на пластинку з адсорбенту наносять зразок проби води (або витяжку з ґрунту), а також – зразки тих токсичних речовин, присутність яких бажають визначити в пробі;
- пластинку вміщують в суміш розчинників (наприклад, в суміш ізооктану і піридину (7:3), або інш);
- розчинники підіймаються по капілярах адсорбента і несуть за собою речовини, які в них розчинились (при цьому швидкість міграції речовин залежить від їх молекулярної ваги та від розчинності в даних розчинниках);
- через декілька годин пластинку адсорбента обробляють спеціальними барвниками і за місцем знаходження на пластинці речовин з розчину, який тестується, та еталонних проб, визначають якісний склад суміші.

На наступному етапі, кожен пляму вирізають із пластинки, речовини переводять назад до розчину і методами кількісного хімічного аналізу встановлюють концентрацію кожної речовини, яка була присутня в пробі води (або ґрунтовій витяжці). В кількісній аналітичній тонкошаровій хроматографії детектування можливо також проводити за допомогою денситометра.



Тонкошарова хроматограма розділення гербіцидів (зони зверху вниз): 1 – прометон, атразин, промазин; 2 – симетрин, пропазин, прометрин; 3 – атратон, симазин, прометрин; 4 – атратон, десметрин, атразин, прометрин; 5 – атратон, симетрин, атразин, промазин; 6 – атратон, десметрин, промазин; 7 – симазин, атразин, промазин; 8 – атратон, прометон, прометрин.

Високоєфективна рідинна хроматографія (англ. HPLC, High Performance Liquid Chromatography). Принцип рідинної хроматографії полягає в розділенні компонентів суміші, яке оснований на відмінностях в розподіленні цих компонентів між двома фазами, які не змішуються, одна з яких нерухома, а інша рухома. Особливістю високоєфективної рідинної

хроматографії є використання високого тиску (до 400 бар) і дрібнозернистих сорбентів (зазвичай 3-5 мкм, зараз до 1,8 мкм). Це дозволяє розділяти складні суміші речовин швидко і повністю (середній час аналізу від 3 до 30 хв). В якості матриць в рідинній хроматографії використовуються неорганічні сполуки, такі як оксид кремнія (силікагель), оксид алюмінія, та інш., або органічні полімери, такі як полістирол (зшитий дивінілбензолом), поліметакрилат та інш.

Газова хроматографія. Газова хроматографія – це різновид хроматографії, метод розділення летких компонентів, при якому рухливою фазою є інертний газ (газ-носіє), який рухається крізь нерухома фазу з великою поверхнею. В якості рухливої фази використовують водень, гелій, азот, аргон, вуглекислий газ. Газ-носіє не реагує з нерухома фазою та з речовинами, які необхідно розділити. Розрізняють газо-твердофазну та газорідинну хроматографію. В першому випадку нерухома фазою є твердий носіє (силікагель, вуглець, оксид алюмінія), в другому – рідина, яка нанесена на поверхню інертного носія. Розділення оснований на відмінностях в летючості та розчинності (або адсорбуємості) компонентів суміші, яка розділяється.

Цей метод можливо використовувати для аналізу газоподібних, рідких та твердих речовин з молекулярною вагою меншою ніж 400, які повинні задовільняти певним вимогам, головні з яких – летючість, термостабільність, інертність. Цим вимогам, зазвичай, повною мірою задовільняють органічні речовини, тому, газову хроматографію широко використовують як серійний метод аналізу органічних сполук.

Головним приладом для проведення досліджень є газовий хроматограф:

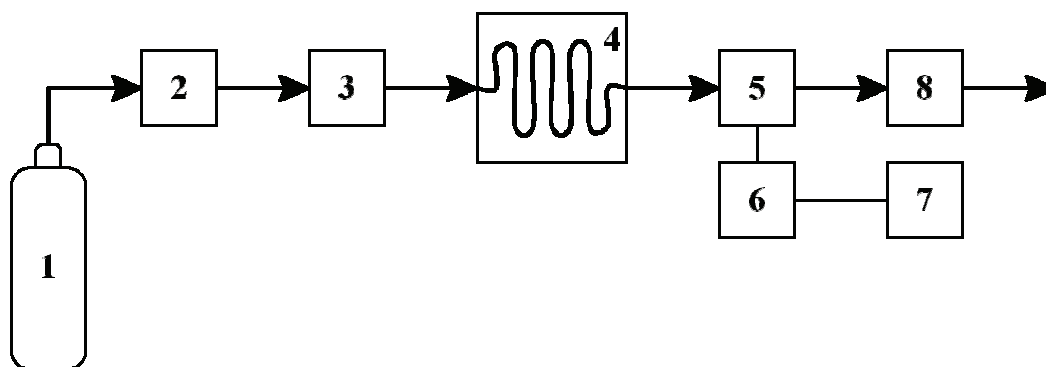


Схема газового хроматографа: 1 - джерело газу-носія (рухливої фази); 2 - регулятор витрат газу носія; 3 - пристрій вводу проби; 4 - хроматографічна колонка в термостаті; 5 - детектор; 6 - електронний підсилювач; 7 - реєструючий пристрій (самописець, комп'ютер); 8 - витратомір.

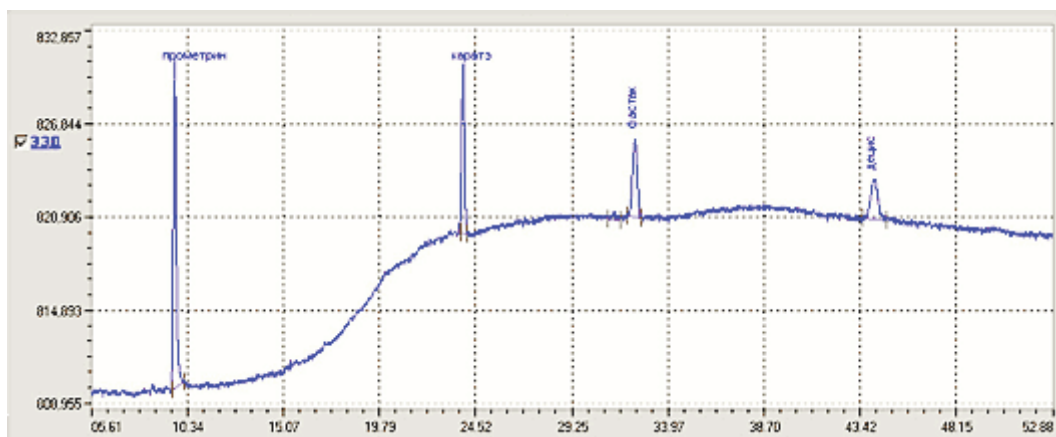
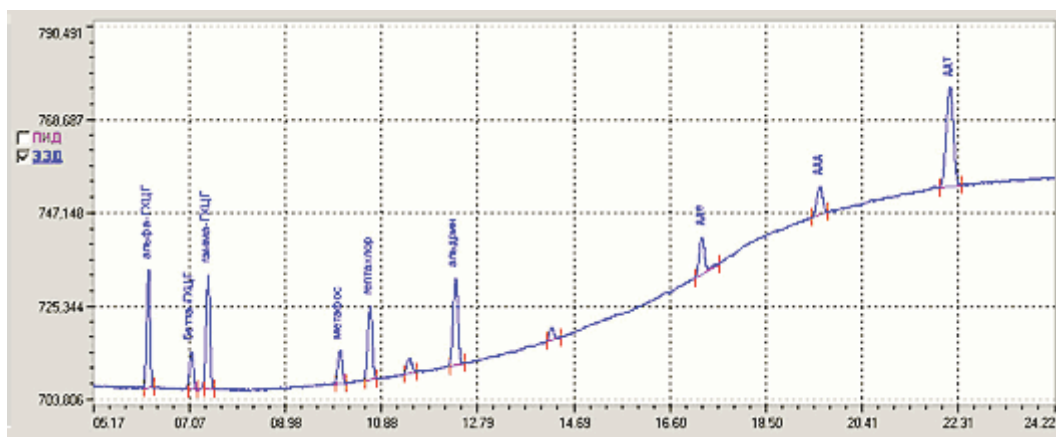
Хроматографічна колонка – це ємність, довжина якої є значно більшою ніж її діаметр. Для газової хроматографії зазвичай використовують U-подібні або спіральні колонки. Внутрішній діаметр колонок – 2-15 мм, довжина – 1-20 м. В якості матеріалу для виготовлення колонок використовують скло, сталь, мідь, інколи фторопласт. Важливим є забезпечення незмінності температури колонки протягом всього процесу хроматографії. Точність підтримання температури повинна становити  $0,05^0-1^0\text{C}$ . Для точного регулювання і підтримки температури використовують термостати.

Методи ідентифікації індивідуальних речовин, які були виділені із складної суміші хроматографічними методами. Після розділення сумішей на прості компоненти – отримані індивідуальні речовини на виході аналізуються: а) за допомогою мас-спектрометрії (речовини іонізують і потім встановлюють їх індивідуальну хімічну приналежність за характером руху молекул цих речовин в магнітному полі, а цей рух в свою чергу залежить від молекулярної ваги і заряду речовини; б) за допомогою діодних матриць (пучок променів з довжиною хвилі, яка відповідає спектру дейтерія або ртуті (254 нм або 280 нм, відповідно) пропускають крізь речовину, яка тестується, і реєструють смуги поглинання, які є

індивідуальними для кожної органічної речовини). Використовують також інші методи детекції. Якщо характеристики речовин, які тестуються, не співпадають з еталонними зразками, тоді хімічну будову невідомої речовини встановлюють за допомогою метода ядерного магнітного резонанса (ЯМР) або інш.

### **3. Якісне і кількісне визначення пестицидів, гербіцидів та інших екоотоксикантів в об'єктах навколишнього середовища.**

Контроль мікрокількостей пестицидів, гербіцидів та інш. екоотоксикантів в продуктах харчування, продукції рослинництва і тваринництва, ґрунтах, воді і повітрі, у зв'язку з високою токсичністю, селективною дією і здатністю накопичуватись в об'єктах навколишнього середовища, є важливим завданням для забезпечення безпеки населення. Найбільш надійним і точним методом контролю вмісту пестицидів є капілярна газова хроматографія високої роздільної здатності в поєднанні з високоселективною і високочутливою детекцією. Для цього успішно використовуються газові хроматографи, які входять до складу програмно-апаратного комплексу, що використовується як в лабораторних, так і у виробничих умовах.

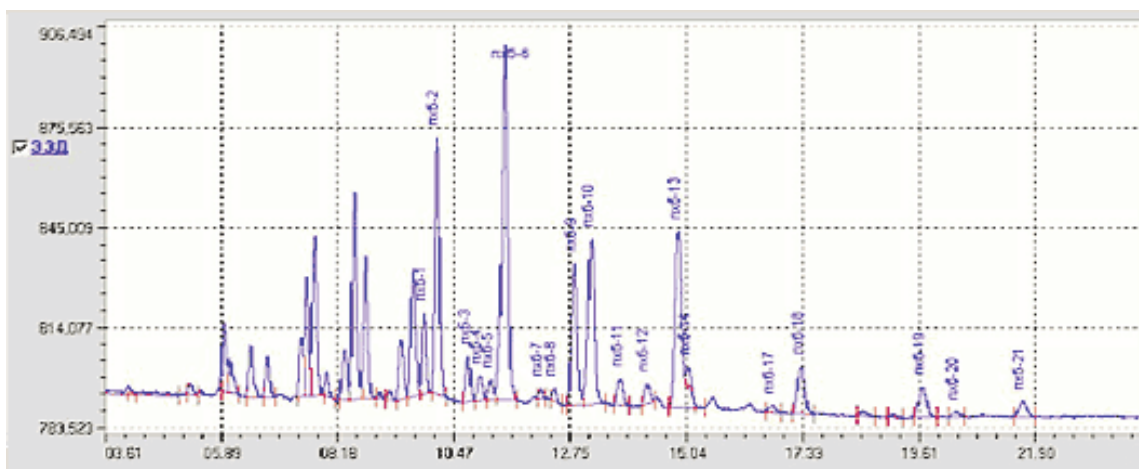


Хроматограма аналізу суміші пестицидів і перитроїдів за допомогою капілярної колонки ZB-5 довжиною 30 м і електронно-захоплюючого детектора (ЕЗД).

### **4. Якісне і кількісне ізомерспецифічне визначення поліхлорованих біфенілів (ПХБ) в харчових продуктах.**

Контроль присутності мікрокількостей ПХБ в харчових продуктах є важливим завданням, оскільки біфеніли спроможні накопичуватись в різних компонентах харчового ланцюга і характеризуються високою стабільністю в навколишньому середовищі. Довготривалий вплив навіть малих доз ПХБ може індукувати розвиток пухлин, несприятливо впливати на репродуктивну функцію організмів. Організації, які здійснюють

контроль якості і безпеки харчової продукції, зобов'язані проводити лабораторні дослідження продуктів (молока, жирової тканини і т.н.) при оцінці навантаження ПХБ на організм. Найбільш надійним та точним методом контролю при цьому є капілярна газова хроматографія високої роздільної здатності з наступним високоселективним та високочутливим детектуванням.



Аналіз вмісту поліхлорованих біфенілів в продуктах харчування.

До складу комплексу входять: газовий хроматограф «Кристаллюкс-4000М» з аналітичним модулем ПИД/ЕЗД/ТИД (слід відзначити, що за допомогою термоіонного детектора можливо аналізувати додатково присутність фосфорорганічних та азоторганічних пестицидів), хроматографічні колонки, програма обробки хроматографічної інформації «NetChrom», персональний комп'ютер, принтер і прилади для формування і подачі газів. Аналіз підготованої проби пестицидів становить не більше 45-и хвилин.

#### Контрольні питання:

1. Методи встановлення вмісту металів в пробах води, повітря, ґрунтів та в зразках тканин організмів.
2. Методи виявлення органічних забруднюючих речовин в пробах води, повітря, ґрунтів, в тканинах організмів.
3. Якісне і кількісне визначення пестицидів, гербіцидів та інших екоотоксикантів в об'єктах навколишнього середовища.
4. Якісне і кількісне ізомерспецифічне визначення поліхлорованих біфенілів (ПХБ) в харчових продуктах.

#### Література:

1. Алемасова А.С., Роқун А.Н., Шевчук И.А. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. Учебное пособие. Донецк, 2003. – 327.
2. Прайс В. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М.: Мир, 1976. – 356 с.
3. Ермаченко Л.А. Атомно-абсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях. Методическое пособие. Чебокс.: Узд. «Чувашия», 1997. – 208 с.
4. Винарский В.А. Хроматография. Курс лекций в двух частях: часть 1. Газовая хроматография. Минск.: Научно-методический центр Электронная книга БГУ, 2003. – 192 с.
5. Карасек Ф., Клемент Р. Введение в хромато-масс-спектрометрию. Пер. С англ.. – М.: Мир, 1993. – 237 с.
6. Лисенко О.М., Набиванець Б.Й. Вступ до хроматографічного аналізу. Навчальний посібник. 2005. – 187 с.

## **1. Геохімічне антропогенне навантаження на екосистеми. Визначення коефіцієнта концентрації хімічного елемента.**

Під геохімічним антропогенним навантаженням на ландшафти розуміють сукупність всіх хімічних елементів, які потрапляють в навколишнє середовище в результаті господарської діяльності людини. Фахівцями-екологами розроблена система коефіцієнтів, які дозволяють оцінити рівень геохімічного антропогенного навантаження на ландшафти. Зокрема, в екологічних дослідженнях використовуються такі кількісні показники: коефіцієнт концентрації хімічного елемента, сумарний показник забруднення природного компонента, коефіцієнт екологічної небезпеки хімічного елемента, сумарний показник забруднення навколишнього середовища токсичними мікроелементами і т.н.

Коефіцієнт концентрації хімічного елемента:

$$K_{ci} = C_i / C_{fi}$$

Де:  $K_{ci}$  – коефіцієнт концентрації і-го мікроелемента;  $C_i$  - вміст хімічного елемента в природному компоненті (воді, повітрі, ґрунті або біоті) в умовах антропогенного забруднення території;  $C_{fi}$  - природний фон (природна концентрація) і-го мікроелемента, який досліджується.

## **2. Визначення сумарного показника забрудненості природного компонента.**

Сумарний показник забрудненості природного компонента (води, повітря, ґрунтів або біоти) різними хімічними елементами:

$$Z_c = (\sum K_{ci}) - (n - 1)$$

Де:  $Z_c$  – сумарний показник забрудненості природного компонента (ґрунтів, води, повітря або біоти);  $K_{ci}$  - коефіцієнт концентрації і-го мікроелемента;  $n$  - загальне число врахованих хімічних елементів.

Наприклад, при оцінці сумарного забруднення ґрунтів важкими металами: при  $Z_c < 16$  – рівень забруднення вважається допустимим (ґрунт можливо використовувати під усі культури); при  $16 - 32$  – забруднення є помірно-небезпечним (ґрунт можливо використовувати під усі культури за умови контролю якості продукції рослинництва); при  $32 - 128$  – забруднення є небезпечним (ґрунти можливо використовувати під технічні культури без одержання з них продуктів харчування та кормів, в яких можливе перевищення максимально допустимих концентрацій забруднюючих речовин); більше  $128$  – рівень забруднення є надзвичайно небезпечним (означені ґрунти доцільно виключати із сільськогосподарського використання) (за Цинао, 1992; цитовано за [http://pidruchniki.com/1657072262600/tovarovnavstvo/zabrudnennya\\_gruntu\\_vazhkimi\\_metalami\\_inshimi\\_himichni\\_mi\\_rechovinami](http://pidruchniki.com/1657072262600/tovarovnavstvo/zabrudnennya_gruntu_vazhkimi_metalami_inshimi_himichni_mi_rechovinami)).

\*NB! Нормативи для оцінки сумарного рівня забрудненості важкими металами поверхневих вод – пропонуються дещо інші (див. лекцію 15).

## **3. Поняття гранично допустимої концентрації хімічного елемента.**

Гранично допустима концентрація забруднюючої речовини (ГДК) - це максимальна концентрація забруднюючої речовини, яка ще не має негативного впливу на живі організми. Для кожної забруднюючої речовини окремо встановлюються величини їх гранично допустимих концентрацій в повітрі, воді, ґрунті та біоті. Це пов'язано з різною рухливістю хімічних елементів в різних природних геокомпонентах (чим більш рухливим є хімічний елемент - тим більшу небезпеку він може представляти для живих організмів). Тому, наприклад, значення ГДК для одного і того ж хімічного елемента у воді будуть значно нижче, ніж для цього ж елемента в ґрунті і т.н.

Хімічна речовина стає екологічно небезпечною, якщо її концентрація в навколишньому середовищі перевищує значення гранично допустимих концентрацій. Якщо в навколишньому середовищі присутні кілька забруднюючих речовин зі схожим механізмом дії на живі організми, то їх токсична дія підсумовується. При цьому сумарний коефіцієнт екологічної небезпеки не повинен перевищувати одиниці.

#### **4. Визначення коефіцієнта екологічної небезпеки хімічного елемента.**

Коефіцієнт екологічної небезпеки хімічного елемента, що міститься в природних компонентах (воді, повітрі, ґрунтах або біоті), обчислюють за формулою:

$$K_{EH} = C_i / ГДК_i$$

Де:  $K_{EH}$  – коефіцієнт екологічної небезпеки  $i$ -го хімічного елемента;  $C_i$  - вміст  $i$ -го хімічного елемента в природному компоненті, який досліджується;  $ГДК_i$  - гранично допустима концентрація  $i$ -го хімічного елемента (відповідно, в повітрі, воді, ґрунті або біоті).

Сумарний коефіцієнт екологічної небезпеки хімічних елементів, присутніх в навколишньому середовищі, обчислюють за формулою:

$$C_i / ГДК_i + C_j / ГДК_j + \dots + C_k / ГДК_k \leq 1.$$

У нормі, сума коефіцієнтів екологічної небезпеки хімічних елементів не повинна перевищувати одиниці.

#### **5. Класи екологічної небезпеки забруднюючих речовин.**

Клас небезпеки:	Мікроелементи:	Індекс токсичності, $M_i$ :
I	Миш'як, кадмій, ртуть, свинець, селен, цинк, фтор	4,1 і вище
II	Бор, кобальт, нікель, молибден, хром, стільбен, мідь	2,6 - 4
III	Барій, ванадій, марганець, стронцій	0,1 – 2,5
IV	Інші елементи	0,1 і нижче

Індекс токсичності хімічного елемента ( $M_i$ ) обчислюють наступним чином:

$$M_i = \frac{A \cdot S}{L \cdot M \cdot ПДК}$$

Де:  $M_i$  - індекс токсичності  $i$ -го мікроелемента;  $A$  - атомна вага відповідного хімічного елемента;  $M$  - молекулярна маса хімічної сполуки, до складу якої входить даний хімічний елемент;  $S$  - розчинність цієї хімічної сполуки;  $L$  - середнє арифметичне з шести значень  $ГДК$  цієї речовини в різних харчових продуктах (в м'ясі, рибі, молоці, хлібі, овочах, фруктах);  $ГДК$  - гранично-допустима концентрація даної речовини в ґрунтах.

#### **6. Встановлення сумарного показника забрудненості середовища токсичними мікроелементами.**

Сумарний показник інтенсивності забруднення природного компонента (води, повітря, ґрунтів, біоти) токсичними мікроелементами ( $P_j$ ) обчислюють за формулою:

$$P_j = \sum (K_{Ci} \times M_i)$$

Де:  $P_j$  - сумарний показник інтенсивності забруднення природного компонента токсичними мікроелементами;  $K_{Ci}$  - коефіцієнт концентрації  $i$ -го мікроелемента;  $M_i$  - індекс токсичності  $i$ -го мікроелемента.

Прийняті нормативи значень  $P_j$  складають: 15 і нижче - допустимий рівень забруднення; 16-31 - помірно небезпечне забруднення (зростає загальний рівень захворюваності населення); 32-50 - небезпечне забруднення (зростає кількість хронічних захворювань); 50 і вище - дуже небезпечне забруднення токсичними елементами (патології репродуктивних функцій: поява вродженої потворності і т.н.).

#### **Контрольні питання:**

1. Коефіцієнт концентрації хімічного елемента. Яку екологічну інформацію надає цей показник?
2. Сумарний показник забрудненості природного компоненту.
3. Коефіцієнт екологічної небезпеки хімічного елемента. Поняття гранично допустимої концентрації хімічного елемента.
4. Класи екологічної небезпеки забруднюючих речовин.
5. Сумарний показник забрудненості середовища токсичними хімічними елементами.

6. Методика оцінки екологічного стану ландшафту за умов одночасної присутності в навколишньому середовищі декількох забруднюючих речовин.

### **Література:**

1. Гуцуляк В.М. Ландшафтна екологія. Геохімічний аспект: Посібник. – Чернівці: Рута, 2002. – 272 с.
2. Гуцуляк В.М., Присакар В.Б. Геохімія: Методичні вказівки. – Чернівці: ЧНУ, 2003. – 32 с.
3. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. Учебник. Изд. «Логос», Учебник для XXI века, 2000. – 627 с.
4. Тарасова В.В., Малиновський А.С., Рибак М.Ф. Екологічна стандартизація і нормування антропогенного навантаження на природне середовище / заг. ред. проф. В.В. Тарасової. Навч. посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 276 с.

## **Частина 3. Біологічне поглинання хімічних елементів живими організмами**

### **1. Коефіцієнт біологічного поглинання**

Живі організми поглинають з навколишнього середовища хімічні елементи у вигляді неорганічних речовин та їх органічних похідних. Для того, щоб встановити, наскільки інтенсивно відбувається даний процес у різних організмів, вміст хімічних елементів в клітинах і тканинах виявляють за допомогою атомно-абсорбційного аналізу зразків тканин. І потім на підставі отриманих даних обчислюють показник (коефіцієнт) біологічного поглинання конкретного хімічного елемента даним організмом як відношення концентрації хімічного елемента в тканинах організму до концентрації даного елемента в ґрунті (повітрі, воді, в іншому організмі, який був джерелом поживних речовин для першого організму):

$K \text{ біол. погл.} = \frac{\text{Концентрація хімічного елемента в організмі}}$

$\frac{\text{Концентрація хімічного елемента в ґрунті (воді, повітрі, в іншому організмі)}}{\text{Концентрація хімічного елемента в ґрунті (воді, повітрі, в іншому організмі)}}$

При  $K > 1$  відбувається біологічне накопичення хімічного елемента; при  $K < 1$  - біологічне розсіювання хімічного елемента.

Критерієм безпеки вживання в їжу рослинної або тваринної продукції є значення гранично-допустимих концентрацій конкретного хімічного елемента в конкретному продукті. Гранично допустима концентрація (ГДК) хімічного елемента в харчовому продукті - це концентрація, вище якої організм-споживач починає хворіти і може загинути. Значення ГДК встановлюються експериментальним шляхом для кожного хімічного елемента і для кожного типу продуктів (ягоди, гриби, риба, м'ясо, зерно і т.н.).

### **2. Накопичення хімічних елементів в живих організмах залежить від багатьох факторів:**

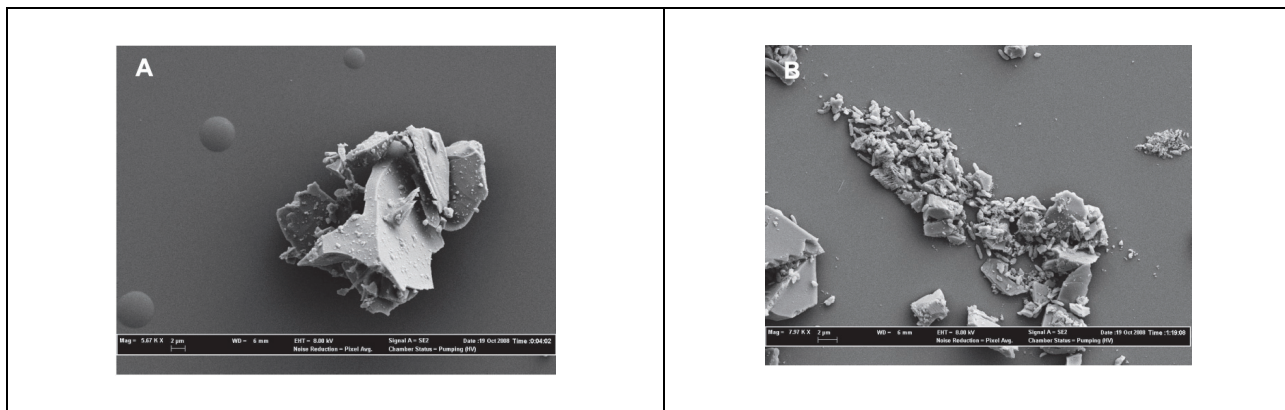
1) від ступеня забруднення навколишнього середовища речовинами, що містять даний хімічний елемент. Наприклад, при вмісті нікелю в ґрунтах 40 мкг/кг - вміст нікелю в рослинах становить 5 мкг/кг; але, зростання концентрації нікелю в ґрунтах до 5000 мкг/кг - призводить до зростання концентрації нікелю в рослинах до 4000 мкг/кг;

NB! Чому рослини не гинуть від такої колосальної концентрації нікелю в клітинах? Рослини надлишок непотрібних іонів відправляють на зберігання до вакуолі і тим самим забезпечують нормальну життєдіяльність організму за умов високої концентрації токсичних елементів в навколишньому середовищі. Проте, якщо рослинної тварина з'їсть таку рослину – вона може загинути від масованого надходження до клітин токсичного мікроелементу нікелю.

2) від доступності хімічних елементів для живих організмів (від розчинності речовин, до складу яких входить даний хімічний елемент: нерозчинні форми, навіть при дуже високих концентраціях в них хімічних елементів, для організмів не є небезпечними). Наприклад, у багатьох мінералах часто присутній миш'як. Однак, він знаходиться в міцній кристалічній ґратці і не доступний для живих організмів. Але, в Східній Азії (Бангладеш та ін. країни)

підземні бактерії буркхолдерії (*Burkholderia fungorum*) своїми ферментами руйнують мінерали і переводять миш'як в розчинну і небезпечну для живих організмів форму. Мільйони людей в Східній Азії щодня п'ють воду, що містить іони миш'яку, і отруюють свій організм (див. рис.).

Наприклад, бактерії *Anaeromyxobacter dehalogenas*, що живуть в підземних горизонтах біля уранових рудників, перетворюють водорозчинні іони урану-238 (VI+) в водонерозчинну форму урану-238 (III+). Таким чином, ці бактерії забезпечують нешкідливість підземних вод поблизу уранових рудників.



А - Бактерії *Burkholderia fungorum* були перенесені на первинний мінерал - апатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ ; В - через 24 години в результаті життєдіяльності бактерій від мінералу апатиту залишилися тільки фрагменти. Фосфат, який входить до складу кристалічної ґратки апатиту, необхідний для життєдіяльності бактерій. Тому, бактерії виділяють ферменти, які розчиняють мінерал, а розчинні форми фосфатів, що утворилися, всмоктують потім всією поверхнею клітини. Атомно-абсорбційний аналіз показав, що на 1 кг мінералу апатиту доводиться 470 мг миш'яку, який входить до складу мінералу як супутній елемент. Саме бактерії - буркхолдерії (*Burkholderia fungorum*) відповідальні за те, що мільйони людей в Східній Азії щодня п'ють воду, отруєну миш'яком (за Mailloux et al., 2009).



Бактерії *Anaeromyxobacter dehalogenas* переводять водорозчинні форми урану – в осад, що забезпечує очищення підземних вод від розчинних форм урану (за <https://yandex.fr/images/search?text>).

3) від способу життя організму - найбільше накопичують хімічні елементи організми, які ведуть нерухомий спосіб життя (рослини, гриби, губки, актинії і т.н.). З одного боку, організм з малорухливим способом життя, повинен вміти запасати хімічні елементи, щоб не опинитися в ситуації мікроелементного голоду. З іншого боку, при надмірному надходженні хімічних елементів - малорухливі організми, як правило, не виводять непотрібні їм речовини з організму, а складають їх у вакуолях, що робить ці організми небезпечними для тих тварин, які ними харчуються.

4) від місця проживання організму. Мешканці водойм, як правило, накопичують більше хімічних елементів, ніж мешканці суші (та ж проблема - самозахист від мікроелементного голоду, оскільки аквальні середовища, як правило, збіднені мікроелементами). Мешканці придонних шарів - накопичують більше хімічних елементів, ніж організми, що живуть на поверхні водойми (ця ситуація причинно-наслідково пов'язана з тим, що придонні мешканці - це фільтратори донних мулів, які зазвичай містять дуже високі



концентрації хімічних елементів внаслідок накопичення на дні відмерлих організмів - біоаккумуляторів хімічних елементів).

5) від виду організму. Наприклад, верба накопичує цинк і стронцій, а акація - свинець, бор, молібден і стронцій; наприклад, в зерні ріпаку накопичується в 10 разів більше радіоактивного цезію-137 (Cs137), ніж у зерні озимої пшениці і т.п.

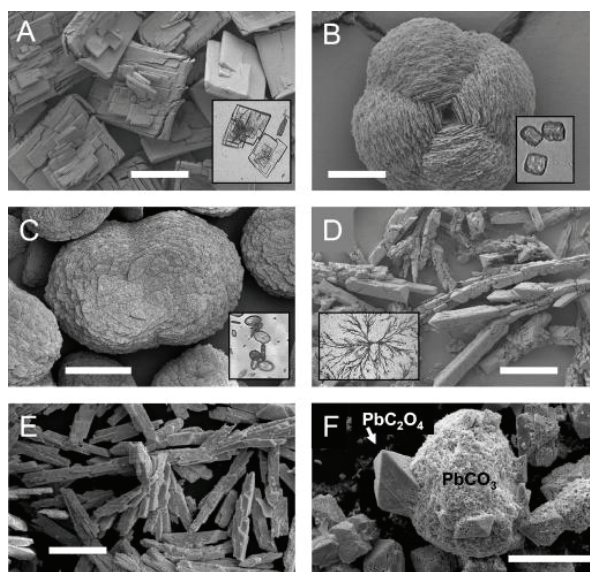
б) у організмів одного і того ж виду - хімічні елементи переважно накопичуються в різних тканинах і органах. Наприклад, полив радіоактивною водою помідорів призводить до накопичення радіоактивного цезію та стронцію в коренях, а не в плодах помідорів. Наприклад, в печінці накопичуються іони ртуті, в нирках - кобальту, в кістках - ртуті, стронцію і т.н.

### **3. Накопичення хімічних елементів в трофічних ланцюгах**

Максимальне накопичення хімічних елементів відбувається в тканинах рослин, а також - грибів, губок, актиній і інших організмів, які ведуть малорухливий спосіб життя. Проте вже на наступному трофічному рівні - в тканинах тварин - відбувається різке зниження концентрації багатьох хімічних елементів, завдяки механізму виведення цих елементів з клітин тварин.

\*NB! Але, ця закономірність порушується, якщо в організм тварини потрапляють органометалеві похідні хімічних елементів. Органометалеві похідні важких металів не виводяться з клітин тварин, оскільки клітинні системи сприймають ці комплекси як власні регуляторні молекули організму (за своєю структурою органометалеві похідні хімічних елементів подібні власним регуляторним молекулам тварин - гормонам). Наприклад, хвороба Мінамата - отруєння людей рибою, спійманою в затоці Мінамата (Японія). У тканинах риби накопичується метилртуть. Ця сполука не розпізнається захисними системами організму як шкідлива і, як наслідок, не виводиться з організму.

Як правило, природними джерелами органометалевих похідних хімічних елементів є бактерії і гриби, що мешкають в ґрунтах і придонних мулах. У процесі життєдіяльності вони переводять іони металів в органометалеві похідні. Наприклад, ґрунтові гриби *Beauveria caledonica* для отримання фосфатів виділяють ферменти, що розщеплюють мінерали, які містять сполуки фосфору, а важкі метали, які при цьому вивільнюються, зв'язують у нерозчинні оксалати для самозахисту від важких металів (див. рис). Однак, частіше - органометалеві похідні виявляються водорозчинними і легко потрапляють в організм рослин, грибів, тварин. Наприклад, метилртуть і етилртуть є розчинними і, як наслідок, дуже небезпечними сполуками.

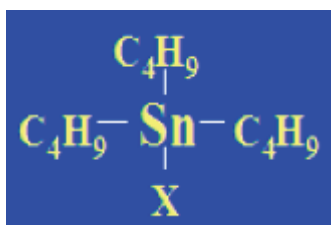


Скануюча електронна мікрофотографія результатів життєдіяльності гриба *Beauveria caledonica*: А - фосфат кадмію під впливом щавлевої кислоти, яку гриб виділяє в навколишнє середовище,

перетворився на оксалат кадмію; В - фосфат міді - перетворився на гідрооксалат міді; С - фосфат цинку - перетворився на оксалат цинку; D - фосфат свинцю - перетворився на оксалат свинцю; Е - тетраоксид свинцю - перетворився на оксалат свинцю; F - карбонат свинцю перетворився на оксалат свинцю. Оксалати важких металів, які утворилися, є не розчинними у воді і, таким чином, не токсичні для самого гриба.

Відомий також ряд техногенних джерел органометалевих похідних: ртуть у фарбах; протруйники насіння; антиожеледні сполуки; свинець у компонентах палива; олово у складі дезодорантів; олово у фарбах днищ кораблів; цинк в дефоліантах (препаратах, що викликають опадання листя) і пестицидах; мідь в альгіцидах (препаратах, що захищають від водоростей) і т.п.

\*Трибутил олово застосовують у фарбах для захисту днищ кораблів від обростання молюсками. Однак, нещодавно уздовж трас міжнародних судноплавних ліній у самок морських равликів виявили явище імпокса (тобто, формування у самок чоловічих статевих органів) (Smith, 1981; Davies, 2000). Виявилось, що трибутил олово за структурою є подібним до статевому гормону равликів. Трибутил олово пригнічує фермент, який відповідає за перетворення тестостерону в естрадіол, тому, у самок морських равликів виникає явище імпокса.

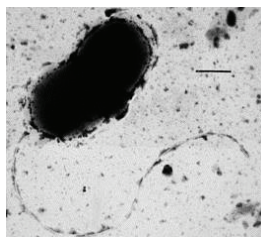


Структурна формула похідних трибутил олова (за <http://www.geokhi.ru/DocLab07/SnECL.pdf>).



Формування у самок морських равликів *Buccinum undatum* L. чоловічих статевих органів внаслідок забруднення морської води трибутил оловом (за <https://squathole.wordpress.com/2010/09/14/>).

У лабораторних умовах був проведений показовий експеримент: устриць поміщали в два акваріуми з хлоридом ртуті. При цьому в один з акваріумів підсаджували бактерій роду *Pseudomonas*, які в процесі своєї життєдіяльності перетворюють ртуть в метилртуть. Через 24 години вимірювали концентрацію ртуті в тканинах устриць. Виявилось, що в акваріумі з хлоридом ртуті і без бактерій - коефіцієнт біологічного поглинання ртуті устрицями склав 60 одиниць, тоді як у устриць з акваріума з ртуттю і бактеріями - даний коефіцієнт склав 200 одиниць! Причина - бактерії перетворили ртуть в метилртуть, а клітини устриць не змогли вивести органометалеві похідні ртуті. Тоді як устриці з акваріума без бактерій - досить успішно виводили неорганічну ртуть зі своїх клітин.



Бактерія роду *Desulfovibrio* (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/Desulfovibrio>). Серед бактерій, які в природних умовах перетворюють ртуть на метил ртуть, - представники родів *Desulfovibrio* та *Desulfomicrobium* (за <http://chemister.ru/Toxicology/ecologija-i-toxicologija-rturi.htm>).

**Контрольні питання:**

1. Коефіцієнт біологічного поглинання. Поняття біологічного накопичення та біологічного розсіювання речовин.
2. Фактори, що впливають на накопичення важких металів в живих організмах.
3. Особливості накопичення важких металів у трофічних ланцюгах.
4. Накопичення живими організмами органо-металевих похідних.

**Література:**

1. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989.
2. Остроумов С.А. Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем. – М.: МАКС Пресс, Учебное пособие, 2005. – 100 с.
3. Винник В.В., Овчаров С.Н. Самоочищение почв, загрязнённых сырой нефтью в присутствии местных форм дождевых червей / Сб. науч. труд. «Актуальные проблемы биологии, медицины, экологии», под ред. проф. Ильинских Н.Н. - 2004 (выпуск 1).
4. Davies I.M. Kinetics of the development of imposex in transplanted adult dogwhelks, *Nucella lapillus* // *Environmental Pollution*. - 2000. – Vol. 107. – P. 445 - 449.
5. Mailloux B.J., Alexandrova E., Keimowitz A.R., Wovkulich K., Freyer G.A., et al., Microbial mineral weathering for nutrient acquisition releases arsenic // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2009. – Vol. 75(8). – P. 2558 - 2565. doi: 10.1128/AEM.02440-07.
6. Smith B.S. Reproductive anomalies in stenoglossan snails related to pollution from marinas // *Journal of Applied Toxicology*. – 1981. – Vol. 1. – P. 15 - 21.

## РОЗДІЛ 2. Геоекологічні дослідження, пов'язані з атмосферним повітрям

### Лекція 10

#### Тема: Хімічне забруднення атмосферного повітря.

##### 1. Фактори забруднення атмосфери.

До факторів забруднення атмосферного повітря відносяться: а) фізичні фактори: теплове, радіаційне, вібраційне, шумове, пилове забруднення і т.н; б) хімічні фактори: газоподібні речовини + аерозолі; в) біологічні фактори: спори бактерій, грибів, пилок рослин і т.н.

##### 2. Джерела хімічного і механічного забруднення атмосфери.

До джерел хімічного і механічного забруднення атмосфери відносяться:

а) природні джерела: космічний пил (щороку на поверхню Землі випадає близько 40000 тонн космічного пилу); продукти вивітрювання гірських порід (пилові і сольові бурі); продукти виверження вулканів; продукти життєдіяльності організмів (наприклад, при розкладанні залишків живих організмів бактеріями і грибами в навколишнє середовище виділяється метан, сірководень, аміак та ін.).

NB! При тривалому перебуванні в багатолюдному приміщенні людина починає відчувати головний біль, втому, зниження уваги і працездатності, з'являється дратівливість і т.н. Приладові вимірювання показали, що при появі цих симптомів рівень кисню в приміщенні ще достатньо високий і проблема не в зниженні рівня кисню, а в накопиченні в приміщенні газоподібних продуктів життєдіяльності людини. Зокрема, проведені дослідження показали, що тіло людини виділяє оксид вуглецю, метан, етилен, аміак, ацетон, ацетальдегід, ізопрен, метанол, метилфуран, пропіловий і ізовалеріановий альдегіди, диметилсульфоксид, диетилсульфід, метилмеркаптан, сірководень, оксисульфід вуглецю, сірковуглець і т.н.

Кількість і тип антропогенних, які виділяються тілом людини, залежать: від типу харчування людини; від індивідуального характеру обміну речовин; від стану здоров'я людини; від рівня фізичного та емоційного навантаження і т.н.

б) техногенні джерела: транспорт дає 42% речовин, що забруднюють атмосферу; опалювальні системи - 21%; промислові викиди - 14%; пожежі - 8%; звалища - 5%; інші джерела - 10%.

NB! На сьогоднішній день однією з найбільш гострих проблем є накопичення в приміщеннях забруднюючих речовин, що виділяються з будівельних матеріалів, лакофарбових покриттів, килимових покриттів, лінолеуму, меблів і т.н. Приладові дослідження показали тривалу присутність в відремонтованих приміщеннях фенолу, толуолу, стиролу, ксилолу, формальдегіду, ацетону, аміаку, етилбензолу, циклогексана, бутанола, ацетофенону, сірчистого ангідриду та ін. хімічних речовин.

Слід зазначити, що потужності джерел природного і техногенного забруднення атмосфери - часто можна порівняти. Наприклад, щорічно в атмосферу надходить близько 2 млрд. тонн пилу, з них - 200 - 400 млн.т - це пил техногенного походження, тоді як інші 1,6 - 1,8 млрд. т. - пил природного походження. Наприклад, вулкани викидають у атмосферу до 150 млн. тонн газів, що містять сірку, а техногенні викиди сполуки сірки в атмосферу - не перевищують 100 млн. тонн.

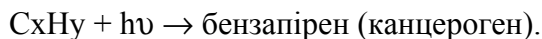
##### 3. Наслідки хімічного забруднення повітря.

В результаті накопичення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі:

а) починають хворіти люди. Це і гострі отруєння токсичними викидами підприємств, і розвиток хронічних захворювань дихальних шляхів через тривале вдихання забрудненого повітря. Слід зазначити, що серед професійних захворювань - на першому місці знаходяться захворювання дихальних шляхів. У забрудненому повітрі крім газоподібних речовин можуть бути присутніми дрібні тверді частинки і крапельки рідини.

Смог - це зважені в повітрі дрібні тверді частинки або краплі рідини, для яких характерними є малі швидкості осадження. 5 - 9 грудня 1952 р. в Лондоні через сірчистий смог загинуло 4 тисячі осіб.

Розрізняють Лондонський (хімічний) і Лос-Анджелеський (фотохімічний) зміг. На територіях з сильною сонячною інсоляцією хімічні речовини, що потрапили в повітря, можуть вступати одна з одною в хімічні реакції, при цьому часто утворюються речовини ще більш токсичні і мутагенні, ніж вихідні компоненти. Наприклад, вуглеводні вихлопних газів під дією ультрафіолетових променів сонця можуть утворювати бензапірен (канцерогенна речовина) і інші небезпечні речовини:



б) в атмосферному повітрі з'єднання оксидів вуглецю, азоту, сірки з крапельками води призводить до випадання кислотних дощів і, як наслідок: до загибелі лісів і риби у водоймах; до корозії металів і будматеріалів несучих конструкцій; до прискорення карстових процесів в гірських породах; до деградації ґрунтів внаслідок втрати ґрунтової структури;

в) руйнується озоновий захисний екран;

г) посилюється природний парниковий ефект і т.н.

#### **4. Відбір проб повітря і встановлення типу і концентрації забруднюючих речовин в повітрі.**

На місці відбору проб повітря можна провести експрес-аналіз повітря шляхом прокачування проби повітря через спеціальні газоаналізаторні трубки. За інтенсивністю забарвлення, що з'являється, або за висотою зафарбованого стовпчика судять про ступінь забруднення повітря тією чи іншою речовиною. На сьогоднішній день створені індикаторні трубки для встановлення концентрації в повітрі оксидів вуглецю, азоту, сірки, летючих вуглеводнів, ацетилену, ацетону, сірчистого ангідриду, сірководню, етилового ефіру, оксиду вуглецю, оксиду азоту, вуглеводнів нафти, аміаку, хлору, толуолу, ксилолу, бензолу і т.н.



Газоаналізаторні трубки.



До набору газоаналізаторних трубок додається насос для прокачування повітря.

Через газоаналізаторну трубку прокачують повітря і за інтенсивністю забарвлення або за висотою забарвленого стовпчика встановлюють концентрацію досліджуваної речовини. Є газоаналізаторні трубки для виявлення: ацетилену, ацетону, сірчистого ангідриду, сірководню, етилового ефіру, оксиду вуглецю, оксиду азоту, вуглеводнів нафти, аміаку, хлору, толуолу, ксилолу, бензолу.



Прилад DirectSense IAQ Monitor використовується для проведення експрес-аналізу якості повітря в приміщеннях. Він дозволяє проводити вимірювання концентрації вуглекислого та чадного газів, визначати кількість пилу в повітрі, концентрацію токсичних газів.



Пристрій ПУ-4Е призначений для автоматичного відбору проб газів, парів і аерозолів (в повітрі робочої зони, в атмосферному повітрі і в промислових викидах). Відібрані проби аналізуються в лабораторних умовах із застосуванням стандартних методик.

Однак, експрес аналіз по-перше, не є досить точним, по-друге - не для всіх типів забруднюючих речовин створені індикаторні трубки. Тому, проби повітря доставляють в лабораторію де і проводять високоточний якісний і кількісний аналіз хімічного складу атмосферного повітря. Для встановлення присутності в пробах важких металів - використовується атомно-абсорбційний спектрометр, а для виявлення в пробах присутності органічних речовин спочатку суміш забруднюючих речовин поділяють за допомогою газової хроматографії (стілки колонки газового хроматографа покриті спеціальними речовинами, які вибірково уповільнюють рух хімічних речовин по колонці хроматографа, що дозволяє на виході з колонки отримати на суміш, а окремі речовини), а потім хімічну природу кожної з речовин встановлюють з допомогою мас-спектрометра.

Результати газової хроматографії + мас-спектрометрії подають у вигляді графіка, на якому на осі ОХ - вказують час виходу кожної з забруднюючих речовин з колонки газового хроматографа, а на осі ОУ - вказують концентрацію забруднюючої речовини. Чим вище концентрація забруднюючої речовини в пробі повітря - тим вище пік даної речовини на графіку.

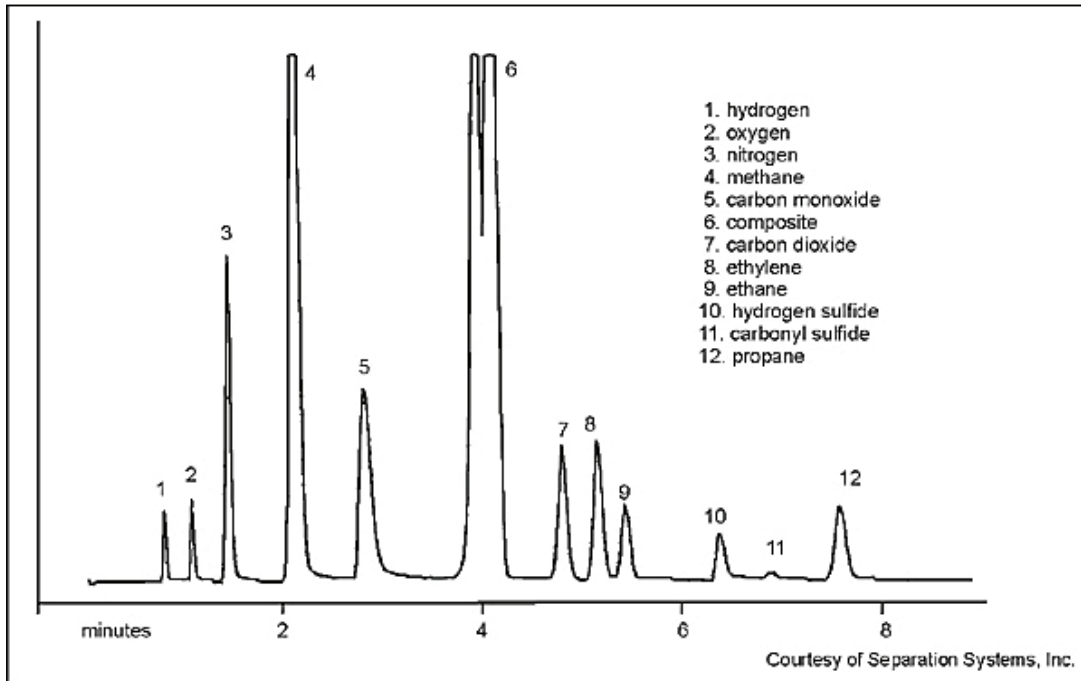


Атомно-абсорбційний спектрометр дозволяє виявити забруднення проб повітря металами.

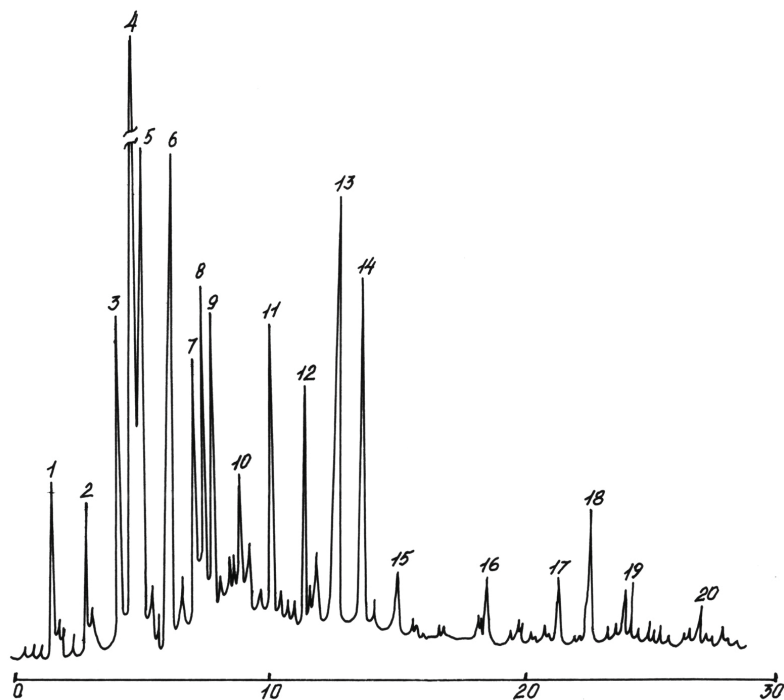


Газовий хроматограф + мас-спектрометр дозволяють виявити забруднення повітря органічними речовинами.

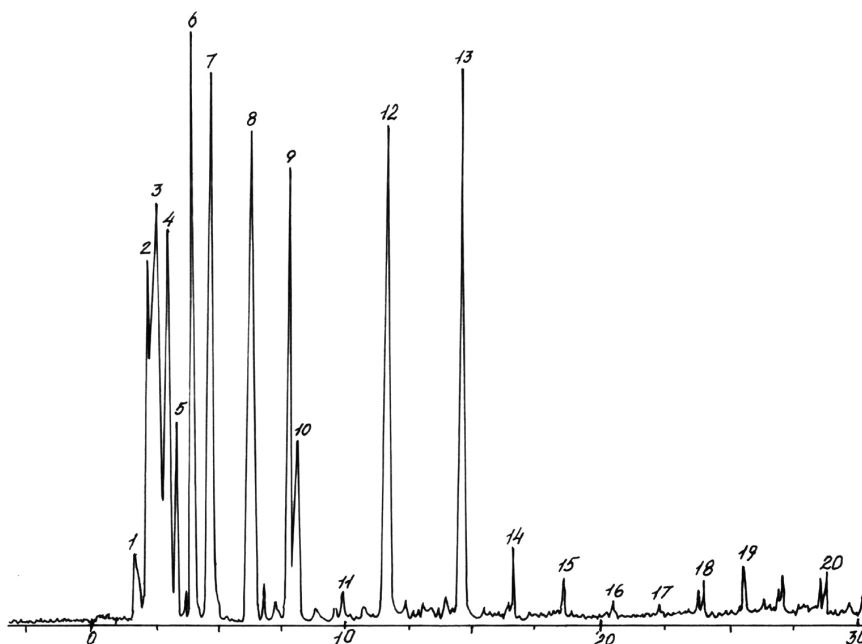
## Analysis of Coke Gas



Результати газової хроматографії + мас-спектрометрії газової суміші в робочій зоні коксохімічного виробництва: 1 - водень; 2 - кисень; 3 - азот; 4 - метан; 5 - монооксид вуглецю; 6 - композитний компонент; 7 - діоксид вуглецю; 8 - етилен; 9 - етан; 10 - сірководень; 11 - карбоніл-сульфід; 12 - пропан.



Хроматограма летючих речовин, що виділяються в повітря з поліпропілену будівельних матеріалів: 1 - і-гексан, 2 - 2-метилгексан, 3 - циклогексан, 4 - гептан, 5 - 2-метилгептан, 6 - метилциклогексан, 7,8,9 - ізомери октану, 10 - октан, 11 - бутанол, 12 - толуол, 13 - нонан, 14 - диметилнонан, 15 - і-декан, 16 - декан, 17,18,19 - ізомери ундекана, 20 - ундекан.



Хроматограма летючих домішок, які виділяються з поліетилену високого тиску (ПНД): 1 - пентан, 2 - ацетон + ізопентан, 3 - диметилгексан, 4 - циклогексан, 5 - і-гексан, 6 - циклогексан, 7 - гептан, 8 - ізомери октану, 9 - октан, 10 - ізононан, 11 - бутанол, 12 - толуол, 13 - нонан, 14 - диметилнонан, 15 - ізодекан, 16 - декан, 17,18,19, - ізомери ундекану, 20 – ундекан.

### **5. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря.**

Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря здійснюється з використанням наступних методів:

а) для кожної з речовин обчислюють коефіцієнт екологічної небезпеки присутності даної речовини в повітрі:

$$K_{ен} = \frac{C_{фi}}{ГДКi}$$

Де:  $K_{ен}$  - коефіцієнт екологічної небезпеки і-ої речовини;  $C_{фi}$  - фактична концентрація і-ої речовини в повітрі;  $ГДКi$  - гранично допустима середньодобова концентрація і-ої речовини в повітрі.

В нормі, коефіцієнт екологічної небезпеки не повинен перевищувати одиницю. Якщо в атмосфері присутні кілька забруднюючих речовин з подібним механізмом дії, тоді в нормі, сума коефіцієнтів екологічної небезпеки речовин з подібним механізмом дії не повинна перевищувати одиницю, т.т. в нормі:

$$\sum K_{эо} \leq 1 \text{ або } C_i/ПДК_i + C_j/ПДК_j + \dots + C_k/ПДК_k \leq 1.$$

Ефект сумачії при впливі на організми мають такі речовини: ацетон, акролеїн, фталевий ангідрид; ацетон і фенол; ацетон і ацетофенол; ацетон, фурфурол, формальдегід, фенол; ацетальдегід і вінілацетат; аерозолі п'ятиокису ванадію і оксидів марганцю; аерозолі п'ятиокису ванадію і сірчистий ангідрид; аерозолі п'ятиокису ванадію і триоксиду хрому; бензол і ацетофенон; вольфрамовий і сірчистий ангідриди; 1,2-дихлорпропан, 1,2,3-трихлорпропан і тетрачлоретилен; ізобутенілкарбінол, диметилвінілкартінол; метилгідропіран і метилентетрагідропірен; озон, двоокис азоту і формальдегід; оксид вуглецю, двоокис азоту, формальдегід, гексан; сірчистий ангідрид і аерозоль сірчистої кислоти; сірчистий ангідрид і металевий нікель; сірчистий ангідрид і сірководень; сірчистий ангідрид і двоокис азоту; сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, пил конвертерного виробництва; сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, двоокис азоту і фенол; сірчистий ангідрид і



фенол; сірчистий ангідрид і фтороводень; сірчистий і сірчаний ангідриди, аміак і оксиди азоту; сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна і азотна); фурфурол, метиловий і етиловий спирти; циклогексан і бензол; етилен, пропілен, бутилен.

б) Обчислюють сумарний показник ІЗА (індекс забруднення атмосфери):

- для кожної забруднюючої речовини обчислюють показник ІЗАі:

$$ІЗАі = \frac{Сфі \cdot аі}{ГДКі}$$

Де: ІЗАі – індекс забруднення атмосфери і-ою речовиною; Сфі – фактична концентрація і-ої речовини в атмосфері даної території; ГДКі - гранично допустима середньодобова концентрація і-ої речовини в атмосферному повітрі; аі - коефіцієнт, що враховує клас небезпеки і-ої речовини.

- потім знаходять суму значень ІЗА для п'яти речовин, у яких на даній території значення ІЗА максимальні;

- екологічна ситуація на даній території оцінюється наступним чином: ІЗА ≤ 5 - ситуація задовільна; ІЗА = 6-15 - ситуація дещо напружена; ІЗА = 16-50 - ситуація істотно напружена; ІЗА = 51-100 ситуація критична; ІЗА > 100 ситуація катастрофічна.

Таблиця. Значення ГДК деяких небезпечних речовин в повітрі населених пунктів

Речовина:	ГДК середньодобова, мг/м <sup>3</sup>	ГДК максимальна разова, мг/м <sup>3</sup>
Тверді речовини (пил)	0,15	0,2
Оксид сірки	0,05	0,5
Діоксид азоту	0,04	0,085
Оксид азоту	0,06	0,4
Оксид вуглецю	3,0	5,0
Аміак	0,04	0,2
Хлороводень	0,2	0,2
Сірководень	0,005	0,03
Фенол	0,003	0,01
Формальдегід	0,003	0,035
Фтороводород	0,005	0,2

Таблиця. Клас небезпеки речовин

Клас небезпеки речовин:	Ступінь небезпеки:	Величина ГДК, мг/м <sup>3</sup>
I	Надзвичайно небезпечні речовини	Менше 0,1
II	Високонебезпечні речовини	0,1-1,0
III	Помірно небезпечні речовини	1,0-10,0
IV	Малонебезпечні речовини	Більше 10,0

Таблиця. Значення константи небезпеки речовин (аі) для обчислення значень ІЗА

Клас небезпеки речовин:	I	II	III	IV
Константа аі	1,7	1,3	1,0	0,9

#### Контрольні запитання:

1. Відбір проб повітря для аналізу.
2. Атомно-абсорбційний аналіз проб повітря.
3. Газова хроматографія + мас спектрометрія проб повітря.
4. Розрахунок сумарного індекса забруднення атмосфери (ІЗА).

5. Розрахунок коефіцієнту небезпеки забруднюючої речовини. Правило підсумовування.

**Література:**

1. Тарасова В.В., Малиновський А.С., Рибак М.Ф. Екологічна стандартизація і нормування антропогенного навантаження на природне середовище. - К.: Центр учбової літератури, 2007. – 276 с.
2. Григор'єва Л.І., Томілі Ю.А. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище: Навчальний посібник. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2005. – 172 с.
3. Gallagher M., Wysocki C.J., Leyden J.J., Spielman A.I., Sun X., Preti G. Analysis of volatile organic compounds from human skin // Br. J. Dermatol. – 2008. – Vol. 159(4). – P. 780-791.
4. Бочаров В.Л. Мониторинг природно-технических экосистем / В.Л. Бочаров, Ю.М. Зинюков, Л.А. Смоляницкий. Воронеж: Истоки, 2000. – 226 с.
5. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль. Пер. с англ. / Под ред. А.Ф. Туболкина. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.
6. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Справочник. Л.: Химия, 1987. – 191 с.
7. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами) ДСП-201-97. МОЗ України: Затв. 09.07.97, № 201. – К., 1997. – 40 с.
8. ДБН А.2.2.-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. К.: Держбуд України, 2004. – 22 с.
9. ДСТУ 2156-93. Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994. – 31 с.
10. Драмлич М., Иованович Курепа М. Автоматическая мониторинг-система наблюдения за загрязнением атмосферы воздушных бассейнов. Пер. ВИНТИ. М., 1982. – 14 с.
11. Звягинцева А.В. Системы оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2014. №1(6)-2(7). – С. 1 - 33. <http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/30723/1/4.1>.
12. Какарека С.В. Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха // Природопользование: Сб. научн. тр. – Минск: СтройМедиаПроект, институт природопользования, 2014. – Вып. 25. – С. 61 – 69. – Электр. ресурс. URL: [http://ecology.basnet.by/journal/priroda25/PRIRODA\\_25\\_1.pdf](http://ecology.basnet.by/journal/priroda25/PRIRODA_25_1.pdf) (24.05.14).
13. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. В.К. Донченко. – С.-Пб.: Эколого-аналитич. інформац. центр «Союз», 1998. – 896 с.
14. Кузнецова О.А. Научные основы экологического мониторинга. – Красноярск: СФУ, 2008. – 110 с.
15. МР 2.2.12-142. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». 2007. Затв. Наказом МОЗ України 13.04.07 № 184. К.: М-во охорони здоров'я України, 2007. – 40 с.
16. Обґрунтування гігієнічних нормативів шкідливих хімічних речовин у різних середовищах на основі системного підходу: Методичні вказівки: МВ 1.1.5-088-02. Затв. Мінздравом України 12.04.02 р., № 14. – К., 2002. – 55 с.
17. Посібник до розроблення матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (до ДБН А.2.2.1-2003). Харків: УкрНДІНТВ, 2005. – 332 с.
18. Рекомендации по качеству воздуха в Европе. / Пер. с англ. – М.: Весь мир. – 2004. – 312 с.
19. Справочник по токсикологии и гигиеническим нормативам (ПДК) потенциально опасных химических веществ // Ред. Кушнева В.С., Горшкова Р.Б. – М.: ИздАТ, 1999. – 272 с.
20. Фомин Г.С., Фомина О.Н. Воздух. Контроль загрязнения по международным стандартам. Справочник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Протектор, 2002. – 432 с.

## Лекція 11

### Тема: Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу. Встановлення розмірів санітарної зони підприємств.

#### 1. Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

Гранично допустимі викиди (ГДВ) підприємства в атмосферу розраховуються виходячи з того, що після розсіювання викиду концентрація забруднюючих речовин в приземному шарі повітря не повинна перевищувати гранично допустиму концентрацію (ГДК) для даних речовин в повітрі. Величини ГДВ переглядаються раз в п'ять років.



Одне з основних джерел техногенного забруднення атмосфери - викиди підприємствами газопилових сумішей в повітря (за [https://yandex.ua/images/search?img\\_url](https://yandex.ua/images/search?img_url)).

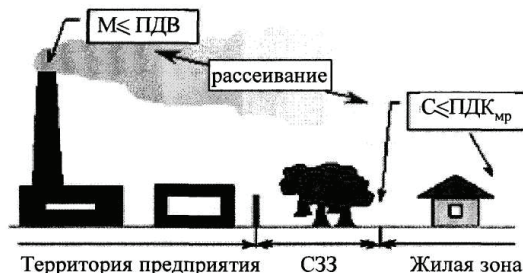


Рис. 1

Розміри санітарно-захисної зони підприємства повинні забезпечити достатнє розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері: в житловій зоні концентрація забруднюючих речовин в повітрі не повинна перевищувати значення ГДК (за <https://yandex.ua/images/search?text>).

#### Величина ГДВ залежить:

- а) від класу небезпеки речовин;
- б) від здатності атмосфери до самоочищення на даній території:
  - від сили і тривалості вітрів;
  - від кількості опадів;
  - від кількості днів з туманами;
  - від кількості днів з температурними інверсіями (як правило, в приземних горизонтах повітря тепліше, ніж в більш високих горизонтах за рахунок його нагрівання від поверхні землі; іноді відбуваються температурні інверсії - в приземний шар опускається холодне повітря, що зупиняє самоочищення атмосфери за рахунок процесів конвекції легшого теплого забрудненого приземного повітря і більш важкого холодного і чистого повітря верхніх шарів атмосфери);
  - від форм рельєфу (западни і гірські форми рельєфу затримують забруднюючі речовини в приземному шарі атмосфери);
- в) від технологічних параметрів підприємства та фізико-хімічних особливостей речовин, що викидаються: від висоти труби; від температури газів, що викидаються; від здатності забруднюючих речовин газопилової суміші до агрегації і т.н.

Гранично-допустимі викиди підприємства по кожному типу забруднюючих речовин розраховуються з використанням наступної формули :

$$m_{ГДК} = \frac{C_M \cdot H^2 \cdot \sqrt{V_1 \cdot (t_1 - t_2)} \cdot T}{A \cdot \Phi}$$

Де:  $m_{ГДК}$  - маса максимально допустимого викиду  $i$ -ої забруднюючої речовини в атмосферу, т/рік;  $C_m$  – максимальна разова ГДК забруднюючої речовини,  $mg/m^3$  (див. таблицю 1);  $H$  – висота труби, м;  $V_1$  – обсяг викиду,  $m^3/сек$ ;  $t_1$  – температура викиду,  $^{\circ}C$ ;  $t_2$  – температура атмосферного повітря для найбільш теплого місяця року в даній місцевості,  $^{\circ}C$ ;  $A$  – коефіцієнт, який враховує частоту температурних інверсій в даній місцевості (для умов України  $A=160$ );  $\Phi$  – коефіцієнт швидкості осідання частинок в атмосфері (для газів - 1.0; для парів - 2.0; для пилу - 3.0);  $T$  - число секунд в році,  $T = 3,15 \cdot 10^7$  сек. NB!  $1 \text{ т} = 1 \cdot 10^9$  мг.

Таблиця 1. ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі,  $mg/m^3$ .

Речовина:	Максимальна разова ГДК $C_m$ , $mg/m^3$	Середньодобова ГДК, $mg/m^3$ :	Клас небезпеки речовини:
Ацетальдегід (пари)	0,01	0,01	3
Вінілацетат (пари)	0,15	0,15	3
Сірковуглець (газ)	0,03	0,005	2
Акролеїн (пари)	0,03	0,03	2
Сірчистий газ (газ)	0,008	0,003	2
Діоксид азоту (газ)	0,085	0,085	2

\*NB! Максимальна разова ГДК - це основна характеристика небезпечності забруднюючої речовини. Цей показник встановлено для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлова чутливість, зміни активності головного мозку) при короткочасному впливі атмосферних домішок даної речовини. Середньодобова ГДК - встановлюється для попередження загально-токсичного, мутагенного, канцерогенного та іншого впливу речовини на організм людини.

Обчислення фактичної маси викиду  $i$ -ої забруднюючої речовини в атмосферу проводять за формулою:

$$m_{\text{факт}} = \frac{C_{\text{факт}} \cdot H^2 \cdot \sqrt{V_1} \cdot (t_1 - t_2)}{A \cdot \Phi} \cdot T$$

Де:  $m_{\text{факт}}$  - фактична маса викиду  $i$ -ої забруднюючої речовини в атмосферу, т/рік;  $C_{\text{факт}}$  – фактична концентрація  $i$ -ої забруднюючої речовини,  $mg/m^3$ ;  $H$  – висота труби, м;  $V_1$  – обсяг викиду,  $m^3/сек$ ;  $t_1$  – температура викиду,  $^{\circ}C$ ;  $t_2$  – температура атмосферного повітря для найбільш теплого місяця року в даній місцевості,  $^{\circ}C$ ;  $A$  – коефіцієнт, який враховує частоту температурних інверсій в даній місцевості (для умов України  $A=160$ );  $\Phi$  – коефіцієнт швидкості осідання частинок в атмосфері (для газів - 1.0; для парів - 2.0; для пилу – 3.0);  $T$  – число секунд в році,  $T = 3,15 \cdot 10^7$  сек. NB!  $1 \text{ т} = 1 \cdot 10^9$  мг.

## 2. Метеорологічний потенціал накопичення забруднюючих речовин в атмосфері.

Фахівцями Інституту географії НАН України для оцінки впливу метеорологічних факторів на особливості накопичення забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери був розроблений показник метеорологічного потенціалу накопичення забруднюючих речовини в атмосфері.

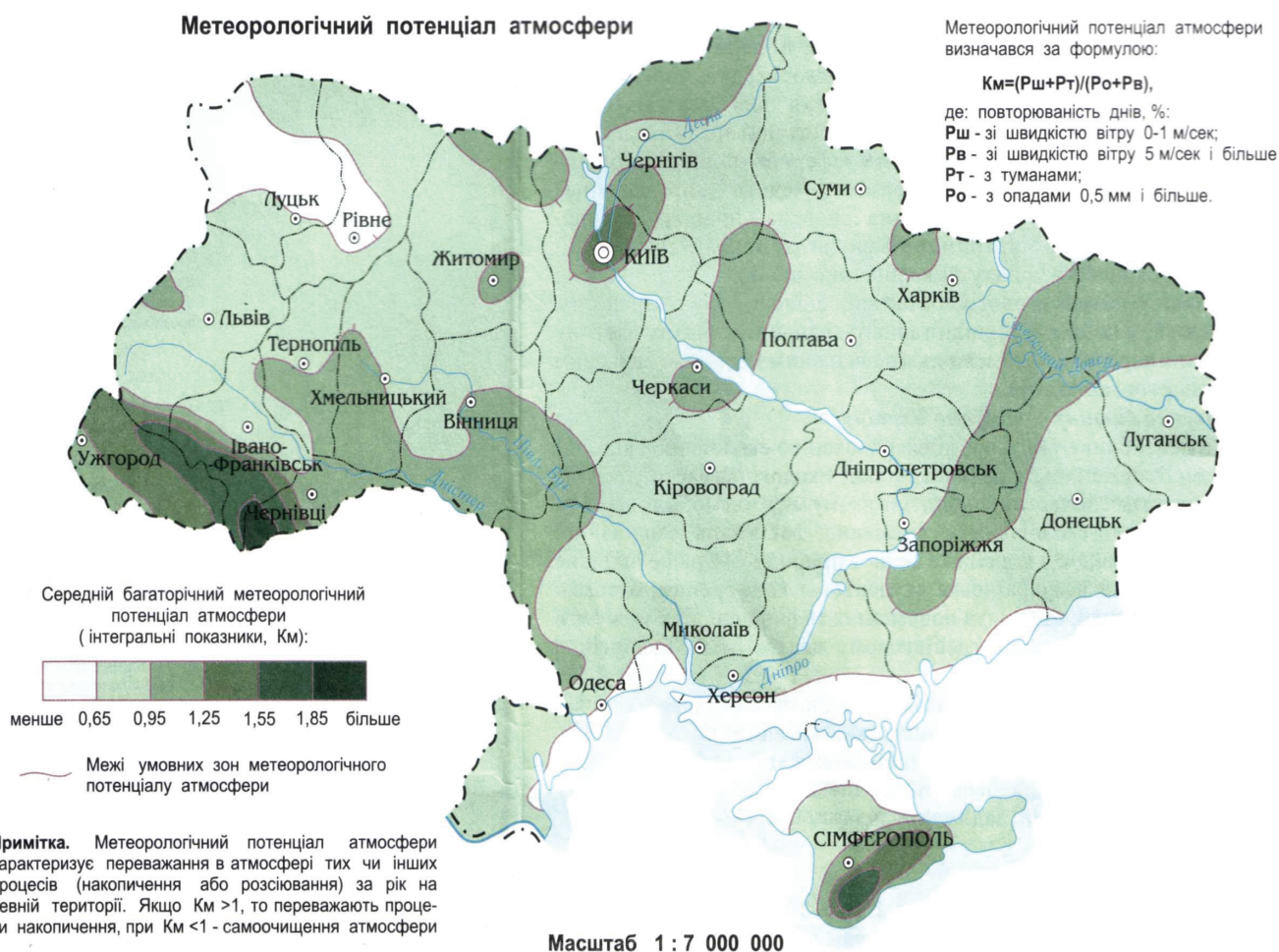
Коефіцієнт метеорологічного накопичення забруднюючих речовин в атмосфері було запропоновано обчислювати з використанням наступної формули:

$$K_M = \frac{P_{\text{ш}} + P_{\text{т}}}{P_0 + P_{\text{в}}}$$

Де: Км - коефіцієнт метеорологічного накопичення забруднюючих речовин в атмосфері; Рш - повторюваність днів (%) зі штилями (швидкість вітру 0 - 1 м/сек); Рт - з туманами; Ро - з опадами 0,5 мм і більше; Рв - з вітрами (зі швидкістю вітру 5 м/сек і більше).

При Км > 1 в атмосфері переважають процеси накопичення забруднюючих речовин; при Км < 1 - переважають процеси самоочищення атмосфери.

Результати, проведених фахівцями обчислень, наведені на карті метеорологічного потенціалу очищення атмосфери (див. рис.). Аналіз карти свідчить про потенційну можливість значного накопичення забруднюючих речовин в атмосферному повітрі Карпат, Криму, ряду районів Луганської, Донецької, Харківської, Дніпропетровської, Запорізької, Одеської, Вінницької, Хмельницької, Тернопільської, Київської, Полтавської, Черкаської, Чернігівської та інших областей. Найбільш благополучними з точки зору інтенсивності процесів самоочищення атмосферного повітря є Волинська, Рівненська та Херсонська області.



Метеорологічний потенціал накопичення забруднюючих речовин в атмосфері України (Барановський, Шищенко, 2002).

### **3. Встановлення розмірів санітарної зони підприємства.**

Розміри санітарної зони підприємства:

а) залежать від класу шкідливості підприємства (тобто від ГДК речовин, що скидаються підприємством в складі газо-пилових сумішей);

Клас шкідливості підприємства:	Розміри санітарної зони, відповідно до санітарної класифікації виробництва:
--------------------------------	---

I клас	1000 м
II клас	500 м
III клас	300 м
IV клас	100 м
V клас	50 м

NB! При належному обґрунтуванні розмір санітарної зони можна збільшити, але не більше ніж в 3 рази.

б) залежать від напрямку, сили і тривалості вітрів на конкретній території. Якщо реальна роза вітрів відрізняється від кругової, то розмір і конфігурацію санітарної зони коригують за формулою:

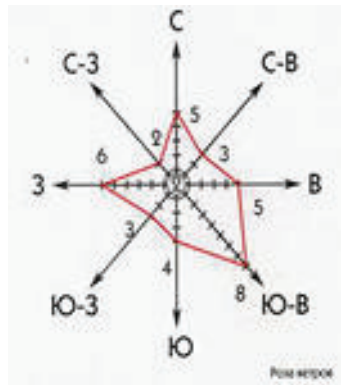
$$L = \frac{L_0 \cdot P}{P_0}$$

Де: L - ширина санзони з урахуванням реальної рози вітрів, м; L<sub>0</sub> – величина санзони, відповідно до санітарної класифікації виробництва, м; P - повторюваність вітрів в заданому напрямку відповідно до рози вітрів даної території, %; P<sub>0</sub> – середня повторюваність вітрів при круговій розі вітрів, P<sub>0</sub> = 12,5 %.

Наприклад, для Кам'янця-Подільського, повторюваність південно-східних вітрів склала 28%. Тому, в південно-східному напрямку санітарну зону необхідно розширити. Якщо це підприємство I класу небезпеки, то ширина санітарної зони буде:

$$L = \frac{1000 \text{ м} \cdot 28 \%}{12,5 \%} = 2240 \text{ м}$$

\*NB! В розі вітрів довжина стрілки від окружності відповідає повторюваності вітрів в даному напрямку у відсотках від загального числа спостережень без урахування штилів. Цифра в центрі кола показує число днів з штилями в місяць.



Роза вітрів (один з можливих варіантів представлення даних).

в) залежать від форм рельєфу на даній території;

г) залежать від маси частинок аерозолі, від температури газоповітряної суміші, що викидається, від швидкості злипання частинок газоповітряної суміші і т.н. Ці параметри враховуються за допомогою спеціальних розрахункових формул (див. нижче).

#### **4. Обчислення умовних розсіювань викидів промислових газів з урахуванням параметрів газоповітряної суміші, що викидається, і параметрів району розміщення джерела забруднення**

1) Максимальна концентрація забруднюючих речовин ( $C_m$ ) близько земної поверхні на осі факела викиду на відстані  $X_{max}$  від джерела викиду обчислюється таким чином:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}$$

Де:  $C_m$  - максимальна концентрація забруднюючих речовин ( $C_m$ ) близько земної поверхні на осі факела викиду на відстані  $X_{max}$  від джерела викиду,  $mg/m^3$ . Параметри газоповітряної суміші, що викидається:  $H$  - висота труби, м;  $V_1$  - обсяг газоповітряної суміші, що викидається,  $m^3/s$ ;  $T_1$  - температура газоповітряної суміші, що викидається,  $^{\circ}C$ ;  $M$  - маса речовин, які викидаються в атмосферу в одиницю часу,  $mg/s$ ;  $F$  - коефіцієнт, який враховує швидкість злипання зважених частинок викиду в атмосфері,  $F = 2$ . Параметри району розміщення джерела забруднення:  $A$  - коефіцієнт стратифікації атмосфери, який залежить від температурного градієнта і визначає умови вертикального і горизонтального розсіювання викидів,  $A = 180$ ;  $T_2$  - температура атмосферного повітря (беруть середню температуру найбільш жаркого місяця в 13 годин),  $^{\circ}C$ ;  $\eta$  - безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив рельєфу місцевості,  $\eta = 1,2$ ;  $m$  - безрозмірний коефіцієнт, який враховує умови виходу газів з труби,  $m = 1,1$ ;  $n$  - безрозмірний коефіцієнт,  $n = 1,73$ .

2) Відстань до місця, де очікується максимальна концентрація забруднюючих речовин ( $X_{max}$ ):

$$X_{max} = d \cdot H$$

Де:  $X_{max}$  - відстань до місця, де очікується максимальна концентрація забруднюючих речовин, м;  $H$  - висота труби, м;  $d$  - показник, який обчислюється з урахуванням температури газоповітряної суміші.

Наприклад, для гарячої газоповітряної суміші (при  $V_m \leq 2$ ) значення  $d$  обчислюють наступним чином:

$$d = 4,95 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) \quad (\text{де } f = 1,15)$$

$$V_m = 0,65 \cdot \frac{\sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{H}$$

3) Концентрація забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери на відстані  $X$  (м) від джерела забруднення ( $C$ ):

$$C = C_m \cdot S_1$$

Де:  $C$  - концентрація забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери на відстані  $X$  (м) від джерела забруднення,  $mg/m^3$ ;  $S_1$  - коефіцієнт, що залежить від величини  $X/X_{max}$ .

Наприклад, при  $1 < X/X_{max} \leq 8$ ,  $S_1$  обчислюють таким чином:

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot (X/X_{max})^2 + 1}$$

#### **Контрольні питання:**

1. Гранично допустимі викиди забруднюючих речовин в атмосферу.
2. Метеорологічний потенціал накопичення забруднюючих речовин в атмосфері.
3. Встановлення розмірів санітарної зони підприємства.

4. Обчислення умовних розсіювань викидів промислових газів з урахуванням параметрів газоповітряної суміші, що викидається, і параметрів району розміщення джерела забруднення.

#### **Література:**

1. Барановський В.А., Шищенко П.Г. Стійкість природного середовища. – К.: 2002. – 35 с.
2. Визначення розмірів плати за забруднення атмосферного повітря та розробка заходів щодо очистки шкідливих викидів. <http://ua-referat.com>; <http://yandex.ru/cleek/>.
3. Екологічне право України. Академічний курс: Підручник / За заг. ред. Ю. С. Шемшученка. - К.: ТОВ "Видавництво "Юридична думка", 2005. - 848 с.
4. Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992, № 2707-ХІІ.
5. Закон України «Про охорону навколишнього середовища». - К., 1991.
6. Закон України «Про заборону ввезення і реалізації на території України етилованого бензину та свинцевих добавок до бензину» від 15.11.2001, № 2786.
7. Збірник методик розрахунку викидів в атмосферу забруднювальних речовин.
8. Методика розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. ОНД-86.
9. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря».
10. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку найбільш поширених і небезпечних забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню» від 29.11.2001, № 1598.
11. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження порядку розроблення та затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел» від 28.12.2001, № 1780.
12. Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок розроблення та затвердження нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря» від 13.03. 2002, № 299.
13. Постанова Кабінету Міністрів України «Про порядок розроблення і затвердження нормативів граничнодопустимого рівня впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарних джерел забруднення на стан атмосферного повітря» від 13.03.2002. № 300.
14. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження порядку розроблення та затвердження нормативів вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних факторів пересувних джерел забруднення атмосферного повітря» від 13.03.2002, № 303.
15. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Основи загальної екології: практичний курс. 2003 р. Чернівці. Видавництво: Рута Мова. – 320 с.
16. Фомин Г. С, Фомина С. Н. Воздух: контроль загрязнений по международным стандартам. - М., 1993.



**Тема: Атмосферний озон. Озоноруйнівні речовини. Парникові гази.**

**1. Техногенні речовини, що руйнують озоновий шар.**

Серед техногенних речовин, які руйнують озоновий шар, виділяють: а) оксиди і закиси азоту, що утворюються при русі ракет і реактивних літаків; б) хлор-, бром-, фторпохідні вуглецю (фреони, галони), які входять до складу: дезодорантів, сумішей для гасіння пожеж, холодоагентів в побутових холодильниках, в промислових сумішах для виробництва пінопластів, в фумігантах (пестициди) і т.п.

\*NB! Фреони і галони – за звичайних умов є хімічно інертними речовинами. Але в стратосфері під дією жорсткого ультрафіолетового випромінювання вони розкладаються з утворенням вільних радикалів, які і сприяють руйнуванню озонового шару. При цьому вільні радикали похідних фреонів і галонів ведуть себе як каталізатори реакцій розпаду озону (т.т. ці речовини самі не витрачаються під час реакцій розпаду озону і, таким чином, один вільний радикал спроможний призвести до руйнування значної кількості молекул озону).

\*NB! Фреони (хлорфторвуглеці) – це похідні насичених вуглеводнів (головним чином метану і етану), які містять фтор і хлор, іноді - бром, і які використовуються як холодоагенти в холодильних машинах (наприклад, в кондиціонерах), як пропеленти, піноутворювачі і т.н. Відомо більше 40 різних фреонів; більшість з них випускається промисловістю.

Розрізняють нижчі хлорфторвуглеці (CFC) - низькокиплячі органічні сполуки на основі метанового, етанового і пропанового рядів, а також вищі хлорфторвуглеці, які є високомолекулярними сполуками. Хлорфторвуглеці - нетоксичні, не утворюють вибухонебезпечних сумішей з повітрям, надзвичайно стабільні. Нижчі хлорфторвуглеці (CFC) тривалий час широко використовували в якості пропелентів в аерозольних балонах, в якості піноутворюючих агентів, вибухобезпечних розчинників і т.н. Вищі хлорфторвуглеці знайшли широке застосування в якості манометричних і запірних рідин, що знаходяться в контакті з агресивними середовищами (концентровані кислоти, галогени, рідкий кисень і інші окислювачі), в якості рідких негорючих діелектриків, в якості змащувальних матеріалів.

Практично безконтрольне використання нижчих хлорфторвуглеців як пропелентів аерозольних упаковок, піноутворювачів, розчинників і холодоагентів призвело до накопичення хлорфторвуглеців в атмосфері. За допомогою електронного детектора Лавлока було виявлено присутність хлорфторвуглеців в верхніх шарах атмосфери.

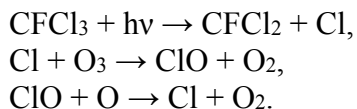


Джеймс Ефрейм Лавлок (2005 р).

У 1957 році Д. Е. Лавлок винайшов електронний детектор для газової хроматографії, який мав специфічну чутливість до хімічних сполук, які становлять загрозу для навколишнього середовища. Застосування детектора призвело до відкриття повсюдної присутності хімічних залишків пестицидів в природі. У 1966 р за допомогою свого електронного детектора Д.Е. Лавлок виявив присутність в атмосфері хлорфторвуглеців (ХФУ): це відкриття зіграло важливу роль в розвитку теорії озонових дір і парникового ефекту (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Виявлення фреонів і галонів в пробах повітря. Присутність фреонів і галонів в атмосфері встановлюють за допомогою аналізу проб повітря з використанням газової хроматографії + подальшої мас-спектрометрії. Вперше забруднення атмосфери фторхлорвуглецями було виявлено Д.Е. Лавлоком за допомогою винайденого ним електронного детектора.

Історія досліджень впливу фреонів на озон атмосфери. У 1973 р хіміки Франк Шервуд Роуланд і Маріо Моліна (Університет Каліфорнії), відкрили, що молекули хлорфторвуглеців є досить стійкими в атмосфері до тих пір, поки не піднімуться в середні шари стратосфери, де вони під дією УФ-випромінювання дисоціюють з утворенням атомарного хлору.



Роуланд Ш. і Моліна М. припустили, що ці атоми хлору спроможні викликати руйнування значної кількості озону в стратосфері. Їх висновки були засновані на аналогічній роботі Пауля Джозефа Крутцена і Харольда Джонстоуна, які показали, що оксид азоту (II) (NO) може прискорювати руйнування озону. За роботу з цієї проблеми в 1995 році Крутцену П.Д., Моліні М. і Роуланду Ш. була присуджена Нобелівська премія з хімії (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Франк Шервуд Роуленд  
(1927 – 2012).



Маріо Моліна (народ. 1943 р).



Пауль Йозеф Крутцен  
(народ. 1933 р.)

У 1995 році Паулю Джозефу Крутцену, Шервурду Роуланду і Маріо Моліні присуджена Нобелівська премія з хімії з формулюванням «За роботу в атмосферній хімії, особливо в частині процесів утворення і руйнування озонового шару» (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

## **2. Небезпека руйнування озонового екрану.**

Озоновий екран затримує жорстке ультрафіолетове випромінювання Сонця (УФ-С і частково УФ-В). Надлишок жорсткого ультрафіолету:

а) викликає захворювання живих організмів (оскільки пошкоджує молекули ДНК і знижує активність імунної системи організмів); як наслідок, відбувається збільшення числа випадків раку шкіри у людей (меланома, карцинома і ін.) і виникнення інших серйозних проблем, таких як ушкодження зернових культур, загибель значної кількості морського фітопланктону і т.н. (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

б) пошкоджує конструкційні матеріали (оскільки є агресивним фактором, що запускає вільнорадикальні хімічні реакції).

## **3. Нормативні документи по озоноруйнівним речовинам.**

Віденською конвенцією 1985 року і Монреальським протоколом 1987 року про захист озонового шару були заборонені виробництва нижчих хлорфторвуглеців, які руйнують озоновий шар. Перелік речовин, що руйнують озоновий шар, обговорений в Додатку А до Монреальського протоколу:

Хімічна речовина:	Озоноруйнівна здатність:
CFCl <sub>3</sub>	1
CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1

C <sub>2</sub> F <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	0,8
C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	1,0
C <sub>2</sub> F <sub>5</sub> Cl	0,6
CF <sub>2</sub> BrCl	3
CF <sub>3</sub> Br	10,0
C <sub>2</sub> F <sub>4</sub> Br <sub>2</sub>	не визначена

Озоноруйнівна здатність - це оціночний показник, що встановлюється на підставі експериментальних даних: 0 балів - речовина не руйнує озон; 10 балів - речовина максимально руйнує озон.

Генеральна Асамблея ООН в 1994 р. проголосила 16 вересня щорічним Міжнародним днем охорони озонового шару. 23 червня 2009 вийшов указ президента України «Про затвердження порядку видачі погодження для Отримання Ліцензії на експорт та імпорт озоноруйнівних речовин і продукції, що їх містять».

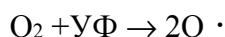
#### **4. Типи озону, що утворюється в атмосфері.**

В атмосфері Землі утворюється два типи озону:

А) тропосферний озон (т.зв. озоновий смог) - це 10% атмосферного озону, який утворюється в нижніх шарах тропосфери при взаємодії вихлопних газів з киснем повітря за рахунок енергії ультрафіолетових променів Сонця:

вихлопні гази, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>NO + O<sub>2</sub> + УФ → озоновий смог, O<sub>3</sub> + фотохімічний смог, C<sub>z</sub>H<sub>v</sub>NO

Б) стратосферний озон - це 90% атмосферного озону, який утворюється в стратосфері на висоті 20 - 30 км з кисню за рахунок енергії УФ випромінювання Сонця (т.зв. механізм Чепмана):



Молекули озону дуже нестійкі і легко руйнуються при зіткненні одна з одною і з іншими газами атмосфери (парами води H<sub>2</sub>O, вуглекислого газу CO<sub>2</sub>, з оксидами і закисами азоту NO<sub>2</sub> і NO і т.н.).

У стратосфері під дією ультрафіолетових променів утворюється озон. При цьому повітря розігрівається до +10<sup>0</sup>С. У тропосфері з висотою температура повітря знижується приблизно на 6<sup>0</sup>С на кожен кілометр підйому, оскільки повітря нагрівається тільки від поверхні Землі. Оскільки у верхніх шарах тропосфери - повітря холодне, а в стратосфері - тепле, то між цими шарами не відбувається активного перемішування повітря (можлива тільки пасивна дифузія, но не активна конвекція). Виняток становлять: польоти ракет і сильні виверження вулканів (раз в два роки сила виверження вулканів є такою, що відбувається закидання газів і пилу в стратосферу). Однак слід відзначити, що в межах самої стратосфери циркуляція повітря має місце, тому що на екваторі розігрів стратосфери відбувається сильніше, ніж в приполярних областях.

#### **5. Озонові діри.**

Озонові діри - це локальне падіння концентрації озону в озоновому шарі. Озонові діри утворюються:

а) в результаті природних процесів, що протікають в стратосфері:

- відсутність сонячного випромінювання в період полярної зими призводить до того, що озон в приполярних областях стратосфери не синтезується;
- особливий характер циркуляції атмосфери в приполярних областях перешкоджає проникненню озону з екваторіальних широт в приполярні широти під час полярної зими;
- утворення полярних стратосферних хмар (т.зв. голчасті хмари) прискорює розпад наявного озону, оскільки поверхня частинок цих хмар каталізує реакції розпаду озону.

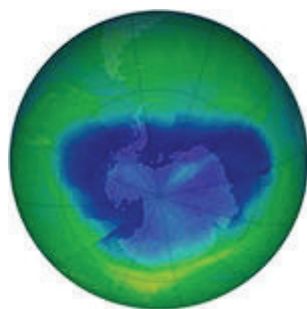
\*NB! Вперше озонову діру діаметром 1000 км було виявлено в Південній півкулі над Антарктидою. Подальші дослідження показали, що в серпні під час полярної зими в Південній півкулі ця діра формується, а до грудня - затягується за рахунок природних процесів синтезу озону.

б) в результаті техногенного впливу:

- польоти ракет, реактивних літаків супроводжуються викидами оксидів і закисів азоту, які каталізують розпад озону;  
- потрапляння в стратосферу (за рахунок пасивної дифузії) фреонів, галонів і інших речовин з тропосфери;

\*NB! Основними компонентами тропосферного та стратосферного повітря є молекули азоту ( $N_2$ ) і кисню ( $O_2$ ). Молекулярна маса кисню становить 32 одиниці, молекулярна маса азоту - 28 одиниць. Тоді як молекулярна маса навіть найлегшого фреону  $CF_3Br$  - становить 149 одиниць. Таким чином, завдяки високій молекулярній масі відбувається гравітаційне накопичення фреонів в приземних шарах атмосфери і їх потрапляння в стратосферу є маловірогідною подією (враховуючи наявність лише пасивної дифузії газів між тропосферою і стратосферою).

Однак, оскільки фреони - це хімічно інертні речовини, які практично не руйнуються в ході природних реакцій деструкції молекул, то вони можуть протягом багатьох років накопичуватися в атмосфері в досить значних кількостях. Крім того, оскільки вони є каталізаторами розпаду озону, це означає, що після потрапляння їх в стратосферу - навіть одна молекула фреонів є джерелом вільних радикалів, які спроможні до безкінечності руйнувати молекули озону, при цьому не витрачаючись в ході реакції.



Озонова діра над Антарктидою в 2010 р.

**Нове покоління фреонів - безпечних для атмосферного озону і живих організмів.**

Підписання і ратифікація країнами ООН Монреальського протоколу призвело до зменшення виробництва озоноруйнівних фреонів. Наприклад, у зв'язку зі згубним впливом озоноруйнівного фреону R-22, його використання в США і Європі рік від року скорочується, де з 2010 року офіційно заборонено застосовувати цей фреон. На заміну фреону R-22 повинен прийти фреон R-410A, а також ретрофіти R-407C, R-422D (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Серед нового покоління фреонів, безпечних для озонового шару, фреон R-410A – який на 50% складається з діфторметана R-32 і на 50% з пентафторетана R-125. Це - найбільш часто використовуваний фреон в сучасних кондиціонерах. Жоден з його компонентів не містить хлору, тому він безпечний для озонового шару (озоноруйнівний потенціал дорівнює нулю). R-410A не токсичний (при концентрації менше 400 мг/кг) і не пожежонебезпечний. Цей фреон приходить на зміну R-22, який руйнує озоновий шар, і виробництво якого обмежено Монреальським протоколом (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/R-410A>).

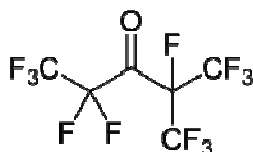
**Не всі фреони нового покоління є безпечними для живих організмів.** Для промислових цілей необхідно виробництво широкого спектру фреонів, які розрізняються за своїми технічними характеристиками. При цьому відповідність технічним нормативам і

вимогам безпеки фреонів для озонового шару не завжди підтверджується вимогами безпеки цих речовин для живих організмів. Фреони першого покоління були хімічно інертними - що забезпечувало їх гіперстійкість і накопичення в навколишньому середовищі. Але при цьому – вони були безпечними для живих організмів. Фреони нового покоління - досить швидко руйнуються в атмосфері, проте - продукти їх руйнування часто виявляються токсичними і мутагенними.

Наприклад, замість хлорфторвуглеців, які руйнують стратосферний озон, запропоновано використовувати гідрохлорфторвуглеці, які є більш лабільними, завдяки наявності С-Н зв'язків (саме завдяки цим зв'язкам вони піддаються окисленню в тропосфері), і тому мають менше шансів потрапити в стратосферу і викликати там руйнування стратосферного озону. За фізичними властивостями – ці речовини є близькими до хлорфторвуглеців. Більшість гідрохлорфторвуглеців - показують низький рівень гострої токсичності, однак - проявляють мутагенність в тесті Амеса (за Anders, 1991).

Дослідження, проведені Dekant W. (1996), показали, що гідрохлорфторвуглеці і гідрофторвуглеці HCFC-141b, HFC-134a, HFC-125, HCFC-124 і HCFC-123, які планується використовувати замість заборонених фреонів, мають слабку подразнювальну дію на очі і шкіру експериментальних тварин. При тривалому впливі в високих концентраціях - призводять до формування пухлин печінки (препарат HCFC-123) і сім'яників (препарати HCFC-141b і HCFC-134a) у лабораторних тварин (за Dekant, 1996).

Наприклад, речовина фторкетон ФК-5-1-12 - замітник хладону 114, забороненого Монреальським протоколом. Дана речовина використовується як холодоагент і при пожежогасінні. При його попаданні в атмосферу - розкладається ультрафіолетом протягом 5 днів (на відміну від речовин, заборонених Монреальським протоколом, які накопичувалися в атмосфері десятиліттями). Але, у цієї речовини - низька ГДК парів (тобто його небезпечно вдихати). При його розкладанні - виділяються токсичні речовини, тому пожежогасіння необхідно проводити в спеціальних захисних масках (за [https://ru.wikipedia.org/wiki/Novoc\\_1230](https://ru.wikipedia.org/wiki/Novoc_1230)).



Фторкетон ФК-5-1-12 ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Novoc\\_1230](https://ru.wikipedia.org/wiki/Novoc_1230)).

## **6. Поняття про «парниковий ефект».**

Парниковий ефект – це підвищення температури приземного шару атмосфери в результаті відбивання і поглинання газами атмосфери теплового випромінювання Землі. До парникових газів відносяться: пари води, вуглекислий газ, метан. Серед техногенних речовин - фреони та ін. Головний внесок у парниковий ефект земної атмосфери вносить водяна пара.

	<u>Основні парникові гази атмосфери Землі:</u>		
	Газ:	Формула:	Вклад (%):
	Водяна пара	H <sub>2</sub> O	36 - 72 %
	Диоксид вуглецю	CO <sub>2</sub>	9 - 26 %
	Метан	CH <sub>4</sub>	4 - 9 %
Озон	O <sub>3</sub>	3 - 7 %	

Парниковий ефект, створюваний фреонами. Парникова активність фреонів в залежності від марки варіює в межах від 1300 до 8500 разів вище ніж у вуглекислого газу при однакових обсягах. Але при цьому треба враховувати, що обсяги фреонів, які застосовуються людьми, є незначними в порівнянні з обсягами вуглекислого газу, що

потрапляють в атмосферу з Світового океану. Основним джерелом надходження фреонів до атмосфери є холодильні установки і аерозолі (<https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Величина парникового ефекту обчислюється як різниця між температурою приземного і зовнішнього шарів атмосфери. Чим товще і щільніше шар атмосфери у планети - тим сильніше парниковий ефект. Завдяки парниковому ефекту не тільки в цілому підвищується температура на планеті, але і відбувається вирівнювання середньодобових і сезонних температур - тобто температурні скачки стають менш контрастними:

Таблиця							
Планета	Атм. тиск у поверхні, атм.	$\bar{T}_E$	$\bar{T}_S$	$\Delta\bar{T}$	$\bar{T}_{max}$	$\bar{T}_{min}$	$\Delta T$
Венера	90	231	735	504	-	-	-
Земля	1	249	288	39	313	200	113
Місяць	0			0	393	113	280
Марс	0,006	210	218	8	300	147	153

У таблиці всі температури дані в Кельвінах,  $\bar{T}_{max}$  - середня максимальна температура опівдні на екваторі,  $\bar{T}_{min}$  - середня мінімальна температура. Кількісно величина парникового ефекту  $\Delta\bar{T}$  визначається як різниця між середньою приповерхневою температурою атмосфери планети  $\bar{T}_S$  та її ефективною температурою  $\bar{T}_E$ .

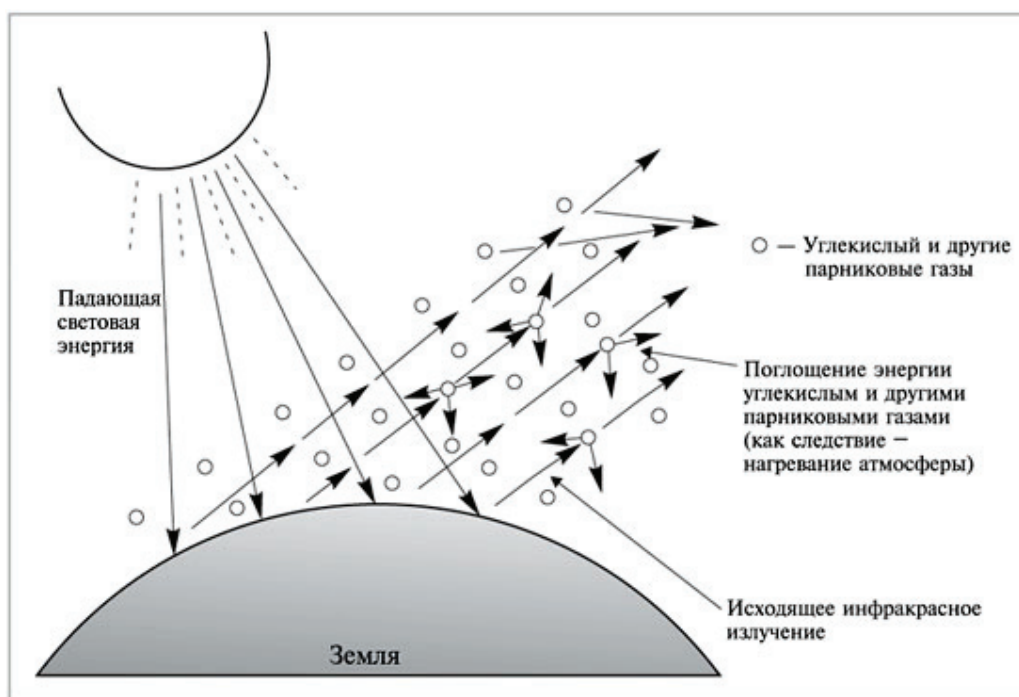
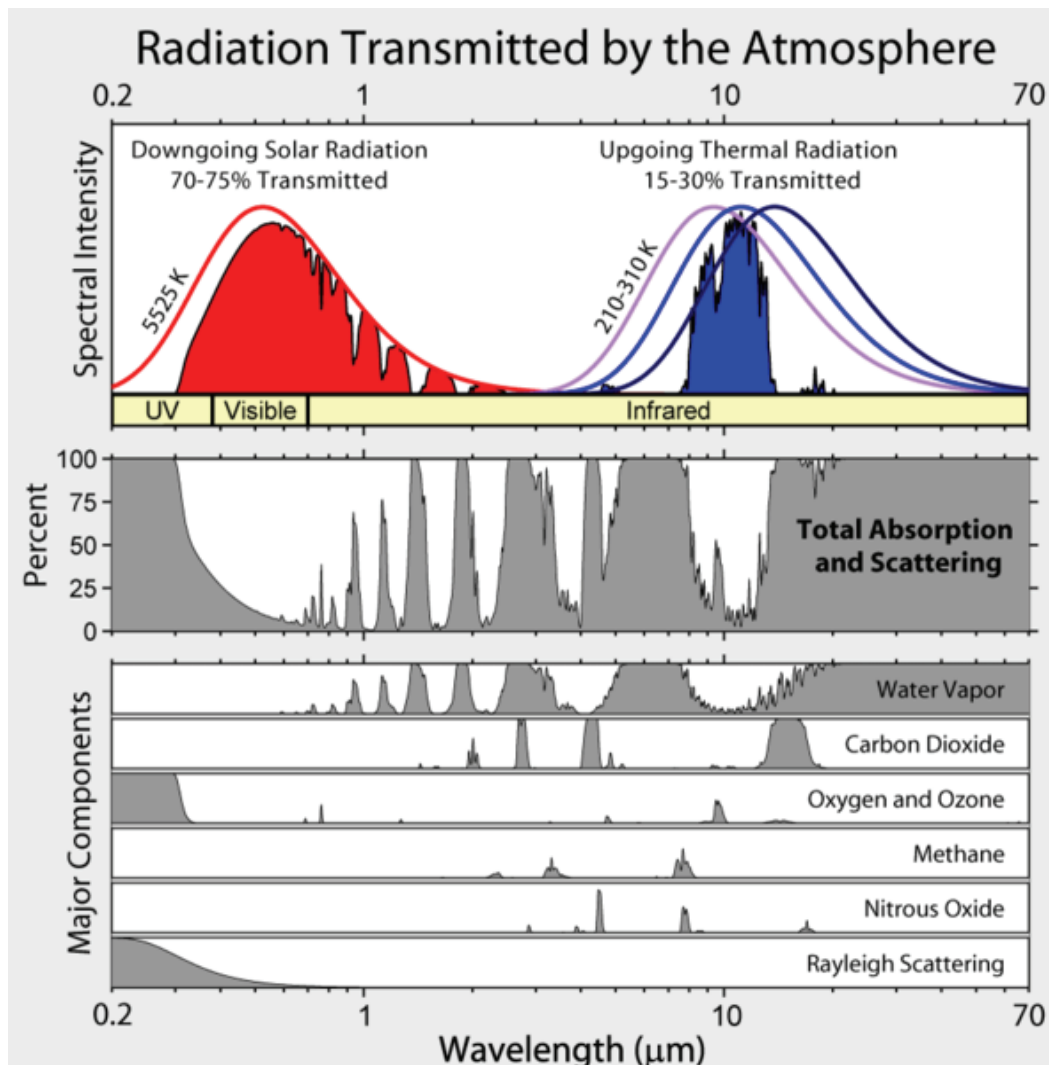


Схема парникового ефекту, створюваного атмосферними газами.

**Природні астрономічні та геологічні причини сучасного підвищення температури навколишнього середовища.** Відомо, що кліматичні цикли пов'язані з астрономічними подіями і ендегенними процесами в надрах Землі. За останні не менше ніж 400 тисяч років - тривалість гляціалів (льодовикових епох) становила 70-90 тис. років, а інтергляціалів (міжльодовикових епох) - 10 - 30 тис. років. Сьогодні ми живемо в епоху чергового інтегляціалу: приблизно 12 тисяч років тому розтанули гігантські покривні льодовики в Європі і Північній Америці.

Причиною багаторазових циклів переходу від гляціалів до інтергляціалів є зміна рівня активності Сонця і параметрів орбіти Землі. При цьому, зростання температури навколишнього середовища, яке почалося під впливом астрономічних факторів, призводить до виходу вуглекислого газу з вод Світового океану і метану з боліт, що внаслідок парникового ефекту, ще більше підвищує температуру навколишнього середовища. Оскільки тривалість інтергляціалів, починаючи з пізнього Плейстоцену, становить приблизно 10-30 тис. років, то чергова льодовикова епоха (гляціал) може початися досить скоро.



Прозорість атмосфери Землі у видимому і інфрачервоному діапазонах (поглинання і розсіювання). 1 - Інтенсивність сонячної радіації (зліва) і інфрачервоного випромінювання поверхні Землі (праворуч) - наведені спектральні інтенсивності без урахування і з урахуванням поглинання 2. Сумарне поглинання і розсіювання в атмосфері в залежності від довжини хвилі 3. Спектри поглинання різних парникових газів і релеевське розсіювання. Де: UV - ультрафіолетові промені; Visible - видиме світло; Infrared - інфрачервоне випромінювання; Wavelength - довжина хвилі; Total Absorption and Scattering - загальна кількість абсорбованого і розсіяного випромінювання; Water Vapor - водні пари; Carbon Dioxide - діоксид вуглецю; Oxygen and Ozone - кисень і озон; Methane - метан; Nitrous Oxide - оксид азоту; Rayleigh Scattering - Релеевське розсіювання; Downgoing Solar Radiation, 70 - 75% Transmitted - падаюча сонячна радіація, 70 - 75% проходить через атмосферу на Землю; Upgoing Thermal Radiation, 15 - 30% Transmitted - відбите теплове випромінювання Землі, 15 - 30% проходить через атмосферу і уходить в Космос.

### 7. Нормативні документи по парниковим газам.

У 1992 р. було прийнято Рамкову конвенція ООН про зміну клімату. У 1997 р. на додаток до цієї Конвенції був підписаний Кіотський протокол. У ньому в Додатку А обумовлений перелік парникових газів: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, гідрофторвуглеці, перфторвуглеці,

гексафторид сірки. У Додатку В обговорені кількісні зобов'язання 39 країн (і в т.ч. України) щодо обмеження та скорочення викидів парникових газів (в% від базового року або періоду). Наприклад, до 2008 - 2012 рр. в порівнянні з 1990 р. Великобританія зобов'язується скоротити викиди на 92%, Україна - на 100%, Японія - на 94% і т.н.

#### **Контрольні питання:**

1. Техногенні речовини, що руйнують озоновий шар.
2. небезпека руйнування озонового екрану.
3. Нормативні документи по озоноруйнуючим речовинам. Метод встановлення озоноруйнівної здатності речовини.
4. Типи озону, що утворюється в атмосфері.
5. Механізм утворення і руйнування стратосферного озону. Значення озонового екрана.
6. Механізм утворення тропосферного озона (озоновий смог).
7. Озонові діри: природні і техногенні фактори утворення озонових дір.
8. Поняття про «парниковий ефект».
9. Основні природні і техногенні парникові гази.
10. Міжнародні угоди, пов'язані з викидами в атмосферне повітря парникових газів.

#### **Література:**

1. <http://ecogolic.p.ht>
2. «Solar Radiation and the Earth's Energy Balance». Eesc.columbia.edu. Архів оригіналу за 2013-07-25. Процитовано 2010-10-15.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Chapter 1: Historical overview of climate change science page 97
4. Комп'ютерна модель, яка демонструє фізичні процеси утворення парникового ефекту.
5. «Kyoto Protocol: Status of Ratification» (PDF). Рамкова конвенція ООН зі змін клімату. 2009-01-14. Архів оригіналу за 2013-06-23.
6. The United Nations Framework Convention on Climate Change. Архів оригіналу за 2013-06-23.
7. Оцінка виконання Плану дій Україна-ЄС: довкілля та сталий розвиток / Під ред. Н.Андрусевич. Львів. 2009. 104 с.
8. Віденська конвенція про охорону озонового шару. Прийнята 22 березня 1985 року [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/ozone.shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/ozone.shtml)
9. Кіотський протокол до Рамкової конвенції ООН про зміни клімату. <http://ru.wikipedia.org/wiki>
10. Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар. [http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/995\\_215](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/995_215).
10. Anders M.W. Metabolism and toxicity of hydrochlorofluorocarbons: current knowledge and needs for the future // Environ Health Perspect. – 1991. – Vol. 96. – P. 185 - 191.
11. Dekant W. Toxicology of chlorofluorocarbon replacements // Environ Health Perspect. – 1996. – Vol. 104, Suppl 1. - P. 75 - 83.



## Лекція 13

### Тема: Пожежі як екологічний фактор

Пожежа - це процес неконтрольованого горіння. При виникненні пожеж в природних ландшафтах і на господарських об'єктах до атмосферного повітря потрапляє велика кількість хімічних і механічних забруднюючих речовин.

Виділяють такі типи пожеж: а) пожежі ландшафтні (лісові, степові); б) пожежі житлово-побутові; в) пожежі виробничі; г) горіння звалищ сміття. Крім того, до атмосфери надходить велика кількість забруднюючих речовин в результаті спалювання листя в межах міста.

#### 1. Причини виникнення пожеж в природних екосистемах.

До причин виникнення пожеж в природних екосистемах відносяться:

- удар блискавки;
- самозаймання сухих дерев через вітрове тертя гілок;
- самозаймання через зсувне тертя легко займистих порід (наприклад, сірчистого колчедану, вугілля і т.н.);
- самозаймання торфу через його переосушення (при зменшенні вологості торфу нижче 10%) + через розвиток деяких типів ґрунтових грибів, в ході метаболізму яких підвищується температура ґрунту;
- виверження вулканів. Найбільш небезпечні виверження вулканів пелейського типу, коли суміш газів, що горять, поширюється в горизонтальному положенні по поверхні зі швидкістю до 500 км на годину. У 1902 р така розпечена хмара, викинута вулканом Мон-Пеле, погубила 30 тисяч жителів міста Сен-П'єр на острові Мартініка.
- розпалювання багаття туристами;
- іскри від транспортних засобів і т.н.

---

\***Монтань-Пеле** (фр. *Montagne Pelée* - Лиса гора) або Мон-Пеле, вулкан в північній частині острова Мартініка (Малі Анільські острови) і її найвища точка. Сумно знаменитий через виверження 1902 року, коли розпечена хмара з попелу і газу (пірокластичний потік) знищила місто Сен-П'єр, де загинуло близько 30 тисяч чоловік. Виверження такого типу відносять до пелейського. У 1929 - 1932 роках вулкан був знову активний, в результаті чого зріс новий купол.



Виверження вулкана Мон-Пеле, острів Мартініка.



Руїни міста Сен-П'єр і в'язень міської в'язниці Сібарус, який в момент виверження сидів в підземній одиночній камері і залишився живим.

**Виверження 1902 року.** Пробудження вулкана почалося в квітні 1902 року, а катастрофа сталася через місяць - 8 травня близько 8 години ранку. Виверження почалося раптово. З тріщини біля підніжжя вулкана вирвалася величезна кучерява хмара сірого кольору, що складалася з розпорошеної лави, парів і газів. Ця хмара піднялася вгору і з гуркотом покотилася по схилу гори на

місто Сен-П'єр, розташоване в 8 км від вулкана. Ураган розжарених газів і попелу в кілька хвилин зніс вщент квітуче місто і знищив в гавані 17 пароплавів, що стояли біля причалу. Тільки одному пароплаву «Роддам» з поламаними щоглами, заваленого попелом і в багатьох місцях палаючого, на силу вдалося вибратися з бухти. Все населення (близько 28 тис. чоловік) і тварини були вбиті розпеченими газами, дерева вирвані ураганом і спалені. Тоді ж загинула французька урядова комісія, яка прибула з метою дослідження стану вулкана, в тому числі відомий художник Поль Мерварт.

З жителів міста уціліли тільки дві людини - в'язень міської в'язниці, що сидів в підземній одиночній камері, і швець, що жив на краю міста (незважаючи на отримані опіки, він прожив ще 34 роки). Сила урагану була настільки великою, що монумент вагою в кілька тонн, який стояв на площі, був відкинутий на кілька метрів убік. Про ступінь розпеченості газів можна судити по знахідках на місці катастрофи винних пляшок з вигнутими від високої температури шийками. Місцевість, що прилягає до вулкану, була засипана в радіусі 2 км масою каменів, що досягали розмірів 7-8 кубічних метрів. Виливу лави під час виверження не було, тільки в подальшому з жерла вулкана піднялася величезна лавова пробка у вигляді гострої скелі - «голка» або «обеліск» (375 метрів висоти при діаметрі до 100 метрів). Через рік вона поступово зруйнувалася, і вулкан прийняв колишній вигляд. Дослідження дна моря в районі острова Мартініки показало, що воно опустилося на кілька сот метрів (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

---

## **2. Причини виникнення промислових і побутових пожеж.**

До причин загорянь при виникненні промислових і побутових пожеж відносяться:

А) порушення умов зберігання речовин:

- зіткнення агресивних речовин (наприклад, в териконах - стикаються шахтні відвали і кисень повітря);

- порушення ізоляції речовин (при транспортуванні, при зберіганні - наприклад, при пошкодженні ізолюючих покриттів мишами);

- порушення температурного режиму зберігання речовин (наприклад, хімічна катастрофа в Західній Україні: транспортування в цистернах білого фосфору при високих температурах навколишнього середовища - привело до його займання).



Промислова пожежа.

Б) порушення правил транспортування речовин (наприклад, вібрації можуть привести до самодетонування і до вибуху);

В) порушення техніки безпеки: у виробничих процесах; в поводженні з побутовими приладами; в контролі стану електропроводки; в контролі стану блискавковідводів тощо.

## **3. Типи ландшафтних пожеж.**

1) лісові низові пожежі - це горіння лісової підстилки (сухого листя) і надгрунтового покриву (суха трава, мох, лишайники) без захоплення крон дерев. Швидкість руху фронту лісової низової пожежі становить 0,3 - 1 м/хв при слабкій пожежі і до 16 м/хв при сильній пожежі. Висота полум'я становить 1 - 2 м, максимальна температура на кромці пожежі досягає майже +900 °С.

2) лісові верхові пожежі - розвиваються, як правило, на низових пожежах, і характеризуються горінням крон дерев:

а) при побіжній верховій пожежі - полум'я поширюється з крони на крону з великою швидкістю (150 - 400 м/хв), залишаючи іноді цілі ділянки лісу не пошкоджені вогнем;

б) при стійкій верховій пожежі - вогнем охоплені не тільки крони, а й стовбури дерев. Полум'я розповсюджується зі швидкістю 80 - 130 м/хв і охоплює весь ліс від ґрунтового покриву до вершин дерев.



Лісова низова пожежа.



Лісова верхова пожежа.

3) ландшафтні плямисті пожежі - при високій температурі під час пожежи виникають конвективні потоки повітря, які зі швидкістю до 35 м/сек підіймаються вгору. При вітрі - конвективна воронка дає плямисту пожежу. Плямиста пожежа - це поява досить віддалених від основної пожежі (до 1 - 2 км) вогнищ загоряння внаслідок перенесення палаючих іскор вітром.

4) підземні пожежі - виникають при переосушенні торфовищ (при зниженні їх вологоємності нижче 40%) і при розвитку в товщі торфовища т.зв. термогенних грибів і бактерій, в процесі життєдіяльності яких підвищується температура навколишнього середовища до +60 °С, + 75 °С.



Підземна торф'яна пожежа.



Задимленість аеропорту Шереметьєво, Москва від торф'яних пожеж 7 серпня 2010 р. До складу задушливого смогу входить чадний газ, дрібні зважені частинки, бензол та інші продукти горіння.

\*Термогенні організми - це організми, які в процесі своєї життєдіяльності виділяють тепло, що підвищує температуру навколишнього середовища до +60 °С, + 75 °С. Термогенними є деякі види бактерій і цвілевих грибів, що викликають самозаймання гною, компостних куп, вологого сіна, торфу, бавовни і т.н. NB! Відомо, що бавовна, щільно покладена в трюмах корабля, самозаймається через життєдіяльність таких термогенних бактерій.

Часто спостерігається тління і горіння вугілля в купках, торфу та бавовни, неодноразово відзначені випадки самозаймання толі в рулонах, поліетилену і целулоїду, паперу, а також матеріалів, що містять нітроцелюлозну основу, при зберіганні у великих пакетах. Температура самонагрівання торфу і бурого вугілля становить +50+60°C, бавовни +120°C, паперу +100°C, полівінілхлоридного лінолеуму +80°C і т.н.



Бактерії термофіли і термогени - *Thermus aquaticus*.

Термогенні бактерії - так назвав Кон (Cohn) бактерії, які, розвиваючись в сіні, складеному в скирти, в бавовняному папері, складеному в тюки, викликають хіміко-біологічні процеси (бродіння), що супроводжуються виділенням величезної кількості тепла, здатного викликати самозаймання сіна, бавовни і т.п. Хоча мікроорганізми, що викликають самозаймання, ще не вивчені, але їх роль в цьому процесі не підлягає сумніву, оскільки стерилізоване сіно або бавовна позбавлені здатності до самозаймання (Наерке); відсутність кисню, знижуючи життєдіяльність мікроорганізмів, також перешкоджає самозайманню. На здатності термогенних бактерій виділяти велику кількість тепла засновано приготування так званого "бурого сіна". При приготуванні цього роду сіна користуються для сушіння трав не сонячною теплотою, а теплотою, що виділяється бактеріями, які швидко розмножуються в складеному вологому сіні. Теплота, що з'являється при цьому, є цілком достатньою для повного висушування сіна. См. Cohn, "Berichte d. deutsch. Bot. Ges." (1893). До термогенних бактерій відносяться, наприклад, *Thermus thermophilus*, *Thermus aquaticus* та ін.

10% торф'яних пожеж припадає на самозаймання торфу, а 90% - на недбале поводження з вогнем. Небезпека самозаймання торфу залежить: від його ботанічного складу, від ступеня його розкладання, від вологості торфу (самозаймання відбувається при вологості торфу нижче 40%).

Згідно Никонівському патріаршому літопису: «... за 1094 рік: мнози бори возгорахуся самі і болота ...», «за 1371 рік: сухомень же бисть тоді велика і спеку і жар багато, яко за єдину сажень перед собою не бачити і мнози человеці особою ударяхуся ... а птиці ... падаху з повітря на землю ... звірі не бачачи по селом ходяху і по грядках, що зміщуються з людиною ведмеді, вовки, лисиці»...

Підземні пожежі поширюються по торф'яному шару, що знаходиться в землі на глибині 50 см і більше. Горіння підземне йде повільно, майже без доступу повітря зі швидкістю 0,1 - 0,5 м/хв з виділенням великої кількості диму і з утворенням вигорілих порожнеч (прогарів). Тому, підходити до осередку підземної пожежі необхідно з великою обережністю, постійно промацуючи ґрунт шостом. Горіння може тривати довгий час навіть взимку під шаром снігу. Так, взимку 2002 р торфовища горіли навіть під шаром снігу, поки не почалося весняне водопілля.

При горінні торфовищ до атмосфери потрапляє величезна кількість диму. При цьому формується задушливий смог, до складу якого входить чадний газ, дрібні зважені частинки, бензол та інші продукти горіння.

5) степові (польові) пожежі - виникають на відкритій місцевості при наявності сухої трави. Швидкість поширення степових пожеж досягає 300 - 500 м/хв.



Степова пожежа.

#### **4. Методи боротьби з ландшафтними пожежами.**

Ландшафтні пожежі гасять: водою, хімічної піною (до складу якої входять похідні хлор- та бром-вуглеводнів, які відносяться до групи озono-руйнівних речовин), засипання землю, пуск зустрічного вогню. Гасіння підземних пожеж проводиться за допомогою однієї з двох методик:

А) навколо торф'яної пожежі на відстані 8 - 10 м від її краю риють канаву глибиною до мінералізованого шару ґрунту і заливають канаву водою;

Б) навколо зони торф'яної пожежі створюють смугу, насичену хімічними речовинами. Для цього за допомогою мотопомп, оснащених голками довжиною до 2 м в шар торфу нагнітається водний розчин поверхнево-активних речовин - змочувачів (сульфанол, пральний порошок і ін.), які в сотні разів прискорюють процес проникнення води в торф. Нагнітання здійснюють через кожні 25 - 30 см на відстані 5 - 8 м від краю підземної пожежі. Одна пожежна машина має пожежний рукав, оснащений 500 голками.

\*Пуск зустрічного вогню. У зоні пожежі через високу температуру повітря виникає верхова тяга, що підсмоктує навколишнє повітря в бік пожежі; тому, пуск зустрічного вогню забезпечує напрям полум'я до центру пожежі і зупиняє подальше поширення процесу горіння. Від дороги або просіки створюють вал горючих матеріалів і коли починається відчуватися тяга повітря в бік пожежі - вал підпалюють. Ширина випалюваної смуги повинна бути не менше 20 - 100 м (в залежності від умов вітру, зволоженості і т.н.), а при верхових пожежах - не менше 200 м.



Прокладка мінералізованої смуги при відсутності доріг або просік - необхідна умова початку пуску зустрічного вогню.



Підпалювання лісу в Південній Кароліні за допомогою спеціального спалахувача, встановленого на всюдиході.



Зустрічний пал (отжиг).



Зустрічний пал (отжиг).

### **5. Наслідки ландшафтних пожеж.**

В результаті ландшафтних пожеж: а) відбувається загибель людей, тварин, рослин, пошкоджуються будівлі, обладнання і т.н.; б) відбувається забруднення навколишнього середовища продуктами горіння; в) після ландшафтних пожеж необхідний досить тривалий час для відновлення природних екосистем.

На сьогоднішній день розроблені методи прискорення післяпожежної сукцесії за рахунок підсаджування на згарище певного виду мурашок і рослин, які в природних умовах з'являються на більш пізніх етапах післяпожежної сукцесії.

\*Сукцесія - це закономірна зміна рослинних і тваринних співтовариств на даній території.

Однак, палеоекологічні дослідження показали, що в історії розвитку життя на Землі мала місце періодичність природних ландшафтних пожеж. Причина періодичності - циклічна зміна рівня активності Сонця. Наприклад, у бореальних лісах (північні ліси - хвойні і хвойно-листяні) - раз в 80 - 100 років відбуваються великі пожежі. У північній Америці на південь від Великих озер раз в 80 років вигорали ліси ще до приходу білих поселенців. У євразійській тайзі - раз в 50 - 100 років відбуваються масові природні пожежі. Боротьба з лісовими пожежами в США привела до прекрасних результатів - пожежі припинилися. Але, через гіперрозмноження жуків-короїдів - почали масово гинути хвойні ліси. Таким чином, квазіциклічні природні лісові пожежі необхідні для збереження екосистем. Не дарма пожежні катастрофи відносяться до динамічної групи катастрофічних сукцесій. За умови відсутності післяпожежної сукцесії - на території природної екосистеми запускається еволюційна сукцесія зміни рослинних і тваринних співтовариств.



На згарищах запускаються післяпожежні пірогенні сукцесії.

## **6. Пожежі в природних екосистемах як екологічний фактор.**

З одного боку, природні пожежі призводять до знищення флори і фауни і до істотного забруднення навколишнього середовища (не менше 20% всіх забруднюючих речовин потрапляє в атмосферу в результаті екосистемних пожеж). Однак, з іншого боку - природні пожежі є потужним екологічним фактором, який в кінцевому підсумку сприяє нормальному функціонуванню великої кількості природних екосистем.

Численні дослідження свідчать про те, що території з постійним або сезонним недостатнім зволоженням піддаються квазіциклічним вигоранням, наслідком яких є поступове відновлення і оздоровлення існуючих екосистем. Наприклад, досвід запобігання розвитку екосистемних пожеж на території США свідчить про те, що в «непожежних» екосистемах відбувається гіперрозмноження шкідників, які сприяють вимиранню домінуючих видів рослин і їх заміні на види-субдомінанти. \*NB! В ході природних пожеж чисельність шкідників і патогенів, як правило, елімінується.

Проведені дослідження показали, що території, що піддаються пожежам, мають більш високу видову різноманітність у порівнянні з територіями безпожежними (Kertesz et al. 2017; Menges et al. 2017). Зокрема, політика запобігання розвитку пожеж знизилася на 24% бета-різноманітність хвойних лісів (Li & Waller, 2015). \*NB! Бета-різноманітність - це різноманітність між спільнотами.

Крім того, різноякісність локальних пожеж в межах однієї і тієї ж геосистеми (різна інтенсивність, частота, різне охоплення території і т.п.) - з часом сприяє підвищенню рівня біорізноманіття в постпожежних екосистемах. Це проявляється як на рівні видового різноманіття рослин, так і на рівні біорізноманіття тварин (формула: пірорізноманіття сприяє біорізноманіттю) (Beale et al., 2018; Ponisio et al., 2016; Tingley et al., 2016).

Слід також зазначити, що регулярні локальні пожежі, як правило, характеризуються малою і середньою інтенсивністю, сприяють видаленню з екосистеми нерозкладеного опаду і не завдають значної шкоди самій екосистемі. Політика запобігання розвитку екосистемних пожеж призводить до накопичення значної кількості опаду і в умовах підвищення рівня посушливості клімату сприяє розвитку катастрофічних високотемпературних екосистемних пожеж, в ході яких знищується навіть органічна частина ґрунтового покриву і екосистемам доводиться відновлюватися практично з нуля (цитовано за Huang et al., 2016).

Зміна частоти природних пожеж - або в результаті зміни клімату, або в результаті регулювання пожеж людиною, призводить до зміни видового складу екосистем і до заміни однієї геосистеми на іншу. Найважливішою причиною еволюційних змін в таких «непожежних» екосистемах є процеси саморозвитку екосистеми, в ході яких на зміну видам-домінантам приходять види-субдомінанти (Yu et al., 2015) - в результаті накопичення в екосистемі продуктів її життєдіяльності, гіперрозмноження паразитів і патогенів і т.п.

Проведені дослідження показали, що програми, спрямовані на зниження рівня небезпеки пожеж в сухих лісах, мають значні несприятливі екологічні наслідки, в тому числі скорочення життєвого середовища для місцевих видів, які залежать від ранніх післяпожежних сукцесій, зменшення ландшафтної неоднорідності, яка в нормі забезпечує стійкість екосистем до кліматичних змін (Baker et al., 2015). Зокрема, було встановлено, що пірорізноманіття (різноманітність локальних екосистемних пожеж) - пом'якшує вплив посух на біорізноманіття квіткових рослин і комах-запилювачів в пост-пожежних екосистемах (Ponisio et al., 2016).

Тривала відсутність екосистемних пожеж в природних геоекотонах - тобто в природних прикордонних зонах між двома різними екосистемами, призводить до зміщення кордонів геоекотонів і до наступу однієї геосистеми на іншу. Так, в геоекотонах між лісами і саваною - відсутність квазіциклічних пожеж призводить до наступу лісів на савану; тоді як підвищення частоти екосистемних пожеж - сприяє наступу савани на ліси (Beckage et al., 2009; Dantas et al., 2013).

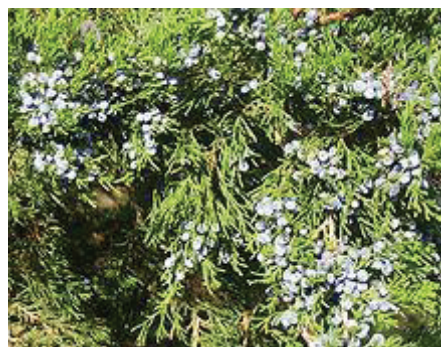
Аналогічна ситуація спостерігається в степах і преріях (північно-американська форма степу). Наприклад, на території центральної частини США в екосистемах, в яких протягом 40 років були відсутні пожежі, вже відбувається заміна трав'янистих біомів на ліси. Зокрема, на високотравні екосистеми північно-американських прерій наступають хвойні ліси з

східного ялівцю (*Juniperus virginiana*) (за Briggs et al. 2002, 2005). У преріях при достатній вологості (наприклад, в високотравних преріях Середнього Заходу США) пожежі сприяють травам за рахунок дерев (оскільки головні точки росту і запаси енергії злаків знаходяться під землею, так що трави швидко відростають після вигорання сухих надземних частин, при якому в ґрунт повертаються елементи живлення).

У сухих умовах (наприклад, на Південному Заході США) періодичні пожежі необхідні для захисту прерії від вторгнення пустельних чагарників (пустельні чагарники більш стійкі до посух, ніж трави, і при відсутності екосистемних пожеж - поступово витісняють трави; тоді як після пожеж - трави відновлюються швидше, ніж чагарники) (цитовано за [https://scibook.net/uchebniki-ekologii\\_1295/pojaryi-kak-ekologicheskiiy-47632.html](https://scibook.net/uchebniki-ekologii_1295/pojaryi-kak-ekologicheskiiy-47632.html)).



Ялівець східний  
(<https://en.wikipedia.org/wiki/>).

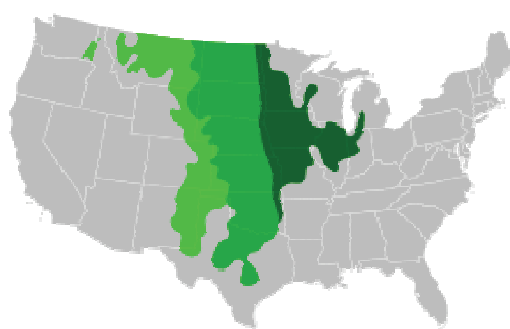


Ялівець східний (*Juniperus virginiana*) - відноситься до інвазивних видів, які легко захоплюють нові території.

Даний вид є чутливим до пожеж, які і обмежують його поширення  
(<https://en.wikipedia.org/wiki/>).



Прерія в національному парку Бедлендс, штат Південна Дакота, США  
(<https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Типи прерій в США: ■ - низькотравні прерії; ■ - змішані прерії; ■ - високотравні прерії  
(<https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

### Контрольні питання:

1. Причини виникнення пожеж в природних екосистемах.
2. Причини виникнення промислових і побутових пожеж.
3. Типи ландшафтних пожеж.
4. Методи боротьби з ландшафтними пожежами.
5. Наслідки ландшафтних пожеж.



## 6. Пожежі в природних екосистемах як екологічний фактор

### Література:

1. Андреев, Ю.А. Влияние антропогенных и природных факторов на возникновение пожаров в лесах и населенных пунктах: автореф. дис. на соиск. уч. степ. д-ра тех. наук / Ю.А. Андреев. - М., 2003. - 45 с.
2. Исаева, Л.К. Экология пожаров, техногенных и природных катастроф: учебное пособие / Л.К. Исаева. - М.: Академия ГПС МВД России, 2001. - 301 с.
3. Исаева, Л.К. Пожары и окружающая среда / Л.К. Исаева. - М.: Изд. Дом «Калан». 2001. - 222 с.
4. Исаева, Л.К., Власов, А.Г. Методические указания расчета показателей, характеризующих опасность загрязнения окружающей среды выбросами от пожаров и аварий / Л.К. Исаева, А.Г. Власов. - М.: Академия ГПС МЧС, 2003. - 44 с.
5. Курбатский, Н.П. Охрана лесов от пожаров в районах интенсивного освоения / Н.П. Курбатский, П.А. Цветков. - Красноярск: ИЛиД, 2006. - 149 с.
6. Пожары: экологический аспект / под ред. В.А. Вронского // Биология в школе. - 2001. - №3. - С. 24.
7. Сафронов, М.А. Пожарная опасность в природных условиях / М.А. Сафронов, И.Г. Гольдаммер, А.В. Волокитина, Т.М. Софронова. - Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. - 330 с.
8. Сборник нормативных документов пожарной безопасности. - М.: МЦФЭБ, 2006. - 352 с.
9. Baker W.L. Are High-Severity Fires Burning at Much Higher Rates Recently than Historically in Dry-Forest Landscapes of the Western USA? // PLoS One. - 2015. - Vol. 10(9):e0136147. doi: 10.1371/journal.pone.0136147.
10. Beale C.M., Courtney Mustaphi C.J., Morrison T.A., Archibald S., et al. Pyrodiversity interacts with rainfall to increase bird and mammal richness in African savannas // Ecol. Lett. - 2018. - Vol. 21(4). - P. 557 - 567. doi: 10.1111/ele.12921.
11. Beckage B., Platt W.J., Gross L.J. Vegetation, fire, and feedbacks: a disturbance-mediated model of savannas // Am Nat. - 2009. - Vol. 174(6). - P. 805 - 818. doi: 10.1086/648458.
12. Briggs J.M., Knapp A.K., Blair J.M., Heisler J.L., Hoch G.A., Lett M.S., J.K. McCarron J.K. An ecosystem in transition: causes and consequences of the conversion of mesic grassland to shrubland // BioScience. - 2005. - Vol. 55. - P. 243 - 254.
13. Briggs J.M., Knapp A.K., Brock B.L. Expansion of woody plants in tallgrass prairie: a fifteen-year study of fire and fire-grazing interactions // The American Midland Naturalist. - 2002. - Vol. 147. - P. 287 - 294.
14. Dantas V.de L., Batalha M.A., Pausas J.G. Fire drives functional thresholds on the savanna-forest transition // Ecology. - 2013. - Vol. 94(11). - P. 2454 - 2463.
15. Huang Y.L., Devan M.M., U'Ren J.M., Furr S.H., Arnold A.E. Pervasive Effects of Wildfire on Foliar Endophyte Communities in Montane Forest Trees // Microb Ecol. - 2016. - Vol. 71(2). - P. 452 - 468. doi: 10.1007/s00248-015-0664-x.
16. Kertesz M., Aszalos R., Lengyel A., Onodi G. Synergistic effects of the components of global change: Increased vegetation dynamics in open, forest-steppe grasslands driven by wildfires and year-to-year precipitation differences // PLoS One. - 2017. - Vol. 12(11):e0188260. doi: 10.1371/journal.pone.0188260.
17. Li D., Waller D. Drivers of observed biotic homogenization in pine barrens of central Wisconsin // Ecology. - 2015. - Vol. 96(4). - P. 1030 - 1041.
18. Menges E.S., Crate S.J.H., Quintana-Ascencio P.F. Dynamics of gaps, vegetation, and plant species with and without fire // Am J Bot. - 2017. - Vol. 104(12). - P. 1825 - 1836. doi: 10.3732/ajb.1700175.
19. Ponisio L.C., Wilkin K., M'Gonigle L.K., Kulhanek K., Cook L., Thorp R., Griswold T., Kremen C. Pyrodiversity begets plant-pollinator community diversity // Glob. Chang. Biol. - 2016. - Vol. 22(5). - P. 1794 - 1808. doi: 10.1111/gcb.13236.
20. Tingley M.W., Ruiz-Gutiérrez V., Wilkerson R.L., Howell C.A., Siegel R.B. Pyrodiversity promotes avian diversity over the decade following forest fire // Proc. Biol. Sci. - 2016. - Vol. 283(1840). pii: 20161703.
21. Yu Q., Wu H., Wang Z., Flynn D.F., Yang H., Lü F., Smith M., Han X. Long term prevention of disturbance induces the collapse of a dominant species without altering ecosystem function // Sci Rep. - 2015. - Vol. 5:14320. doi: 10.1038/srep14320.

**1. Типи біологічного забруднення атмосферного повітря.**

Виділяють три типи біологічного забруднення атмосферного повітря:

- а) біологічні алергени: пилок рослин, спори бактерій і грибів, домашній пил, який утворюють частинки покривного епітелію людини, домашніх котів і собак, тарганів, мишей, кліщів і т.н.;
- б) організми-патогени: спори бактерій і грибів, віруси;
- в) леткі продукти життєдіяльності організмів: токсичні леткі продукти життєдіяльності організмів, феромони і інші регуляторні речовини.

**2. Алергени в атмосферному повітрі.**

Алергени - це речовини (органічні і не органічні), які здатні викликати відповідь імунної системи організму. Алергеном може бути практично будь-яка речовина, що складається з декількох атомів.

Алергія - це патологічна відповідь імунної системи організму на речовини навколишнього середовища, яка проявляється в підвищеній чутливості організму до різноманітних антигенів (т.зв. алергенів - пилку рослин, домашнього пилу, певних видів їжі, лупи тварин, лікарських препаратів і т.н.). Алергія відома також у тварин і птахів. Алергія розвивається, як правило, при повторному (а не первинному) контакті організму з антигеном.

При алергії організм відповідає на присутність чужорідної речовини (алергену) надмірною імунною реакцією, яка пошкоджує його власні клітини і тканини в результаті розвитку набряку і запалення, спазму і розслаблення гладкої мускулатури, порушення мікроциркуляції крові.

---

\*Після первинного впливу на організм чужорідної речовини (т.зв. антигену) клітини імунної системи (плазмоцити) синтезують імуноглобуліни IgM і секретують їх в навколишнє середовище. При вторинному контакті з цим же антигеном синтезуються і секретуються імуноглобуліни IgG. Так працює система при нормальній імунній відповіді на чужорідну речовину. При патологічній відповіді - плазмоцити при повторній зустрічі з антигеном синтезують і секретують в надмірній кількості імуноглобуліни IgE. Ці імуноглобуліни IgE зв'язуються з рецепторами тучних клітин і базофілів. В результаті - в організмі запускається гостра алергічна реакція: тучні клітини у всіх типах сполучної тканини, базофіли крові і інші клітини організму синтезують локальний медіатор - гормон гістамін. Ці клітини накопичують гістамін в великих кількостях в секреторних везикулах і при сигналі імунної системи - вивільняють гістамін в міжклітинний простір шляхом екзоцитозу.

NB! При патологічній відповіді імунної системи імуноглобуліни IgE синтезуються і виділяються і при першій зустрічі організму з антигеном. Однак, цей імуноглобулін при першій зустрічі - просто приєднується до плазматичної мембрани тучних клітин і не викликає ніякої відповіді організму. А при повторній зустрічі з антигеном - ці імуноглобуліни гіперактивуються, що призводить до викиду гістаміну тучними клітинами і базофілами. Лікарські препарати, які блокують рецептори на гістамін - рятують від алергії.

---

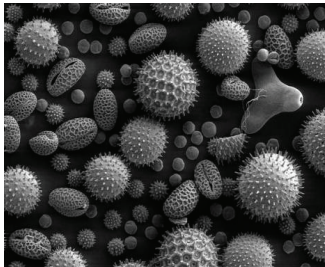
Типи алергенів, що знаходяться в атмосферному повітрі:

- пилок рослин (злакових - тонконіг, тимофіївка, їжака збірна, мітлиця біла; складноцвітих - амброзія та ін.);
- спори бактерій і грибів (в основному - цвілевих грибів роду *Alternaria*, *Cladosporium*, *Botrytis* і ін.); NB: цвілевих грибів багато і на вулиці, в приміщеннях (в старій меблевій оббивці, на сирих стінах, в квіткових горщиках кімнатних рослин, в запліснявілих продуктах, на сирому одязі, в фіранках для душу, в сантехніці, в смітєвих баках, в харчових відходах, в сирих підвалах і т.н). Основними алергенними компонентами домашнього пилу є цвілеві

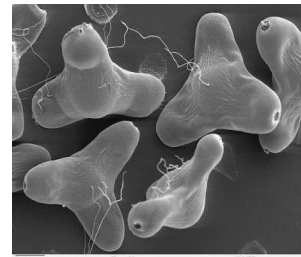
гриби родів *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* та *Phytophthora*, вони провокують розвиток алергічного риніту і бронхіальної астми. Основний метод виявлення алергії до грибів - шкірні проби. При нормі присутності спор в приміщенні 500 спор в 1 м<sup>3</sup> повітря, їх кількість в будівлях іноді досягає 100 000 спор в 1 м<sup>3</sup> повітря. При цьому максимум забрудненості повітря показаний для перших поверхів будівель. Алергії на цвілеві гриби можуть бути: а) не інфекційні (тобто як патологічна реакція імунної системи на спори і гіфи гриба); б) інфекційні (коли гриб оселяється на слизовій дихальних шляхів і викликає захворювання у людини).

- дерматофагоїдний мікрокліщ в домашньому пилу (*Dermatophagoides farinae*, *Dermatophagoides pteronyssinus*); NB! Мікрокліщі живуть на частинках епідермісу людини і тварин і скупчуються в м'яких меблях, подушках, килимах. Навіть загиблі мікрокліщі зберігають антигенні властивості. Алергенами є і самі мікрокліщі, і продукти їх життєдіяльності (екскременти).

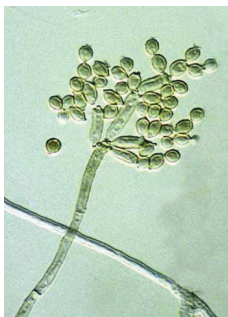
- частинки покривного епітелію домашніх котів, собак, людей, тарганів, мишей;
- шерсть домашніх тварин;
- шерсть і пір'я, які використовують для набивання меблів, подушок, перин (козяча і овеча шерсть, качине перо і т.н.);
- духи та інші ароматичні речовини - продукти парфумерного виробництва і ін.



Пилок рослин



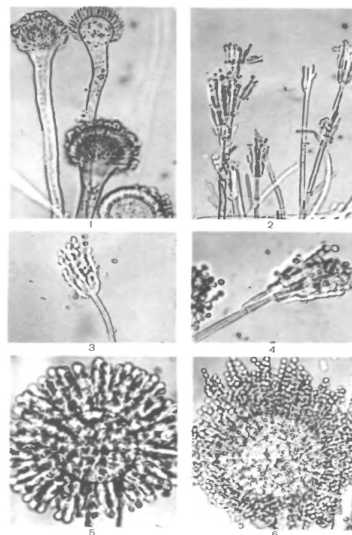
Пилок рослин



Спори грибів роду *Cladosporium* переважають в повітрі міст.



Спори гриба роду *Alternaria* переважають в будівлях



Таблиця 36. Конидієносці аспергіллов і пеніциллов:  
1 — аспергілл димчастий (*Aspergillus fumigatus*); 2 — пеніцилл алейковий (*Penicillium purpurogenum*); 3 — пеніцилл Тома (*P. thomii*); 4 — пеніцилл зеленуватий (*P. viridicatum*); 5, 6 — аспергілл соєвий (*A. oryzae*).

Спори цвілевих грибів роду *Aspergillus* і роду *Penicillium* переважають в будівлях.



Кліщ *Dermatophagoides*, що живе в домашньому пилу. Розмір 0,1-0,5 мм. Алергенами є його хітиновий покрив і екскременти.

### **3. Виробничі алергії.**

Виробничі алергії проявляються у вигляді алергічного альвеоліту (запального процесу в легенях):

- «легеня фермера». Причина: термофільні актиноміцети і гриби *Aspergillus fumigatus*;
- «легеня варильника солоду». Причина: гриби роду *Aspergillus*;
- «легеня сироварів»;
- «суборез» (хвороба людей, що працюють з корою коркового дерева);
- «легеня осіб, що користуються кондиціонерами» і т.н.

У виробничих умовах, пов'язаних з роботою в атмосфері, що містить велику кількість спор грибів (концентрація спор досягає декількох мільйонів в 1 м<sup>3</sup>) знаходяться такі категорії трудящих: працівники сільського господарства, шахтарі, метробудівці, пивовари (*Aspergillus clavatus*), працівники мікробіологічної промисловості (наприклад, на відходах нафтопереробки вирощують гриби *Candida maltosa* для отримання кормових білків, т.зв. білково-вітамінних концентратів. При попаданні цих білків в повітря - розвиваються алергії і бронхіальні астми у всіх жителів міста, а не тільки у працівників даного підприємства), бібліотекарі (у 43% бібліотекарів - алергія до грибів роду *Penicillium*), працівники тютюнових фабрик.

\* Залежно від етіологічного чинника виділяють кілька варіантів алергічного альвеоліту, що мають досить екзотичні назви

Вид альвеоліту:	Джерело алергена:	Алергени, до яких є преципітини:
Амбарна хвороба	Розсипана пшениця	Амбарний довгоносик ( <i>Sitophilus granarius</i> )
Багасоз	Зацвіла цукрова тростина	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>
Хвороба тих, хто вдихає порошок гіпофіза	Порошок висушених гіпофізів свиней і великої рогатої худоби	Антигени гіпофіза
Хвороба молольщиків кави	Зерна кави	Пил кавових бобів
Хвороба тих, хто миється в сауні	Волога деревина	<i>Pullularia</i>
Хвороба тих, хто працює з деревною масою	Деревна маса	<i>Alternaria</i>
Хвороба працівників сироварень	Деякі сорти сиру	<i>Penicillium casei</i> <i>Penicillium glaucum</i>
Кашель ткачів	Зацвіла бавовна	
Легеня дубільщиків	Цвіла кора клена	<i>Cryptostroma corticale</i>
Легеня любителів птахів	Послід і пір'я голубів, курчат,	Сироваткові білки

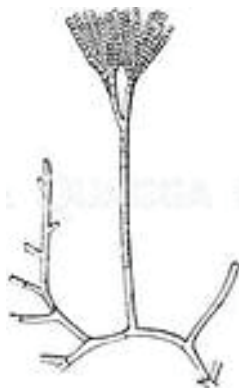
	хвилястих папужок	
Легеня хутровиків	Каракуль, лисе хутро	
Легеня молотильщиків	Перець мелений	
Легеня жителів Нової Гвінеї	Цвілий очеретяний пил	
Легеня тих, хто працює з грибами	Грибні спори	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i> <i>Micropolyspora faeni</i>
Легке тих, хто працює з солодом	Прілий ячмінь, солодовий пил	<i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Aspergillus clatus</i>
Легеня фермера	Пріле сіно	<i>Micropolyspora faeni</i>
Літній гіперчутливий японський пневмоніт	Вологе тепле повітря приміщень, що містить спори грибів	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i> <i>Cryptococcus neoformans</i>
Лікопердіноз	Спори гриба-дощовика	
Секвойоз	Тирса червоного дерева	<i>Aureobasidium pullulans</i>
Субероз	Пробковий пил	Цвіль та пил коркового дерева



Амбарний довгоносик (*Sitophilus granarius*). Амбарна хвороба - алергія на частинки епідермісу довгоносика, що живиться зерном пшениці.



Гриб *Aureobasidium pullulans* живе в тирсі червоного дерева і викликає хворобу у фахівців, що працюють з червоним деревом.



Плісняві гриби *Penicillium glaucum* живуть на деяких сортах сиру. Алергія на спори цих грибів викликає хворобу працівників сироварень.



Введення в сир спор гриба *Penicillium glaucum* - це один з технологічних етапів в процесі сироваріння одного з найцінніших сортів італійського сиру - горгонзола (делікатесний сир із зеленою цвіллю). У більшості «блакитних» сирів використовується інший грибок - *Penicillium roqueforti*.



Пліснявий гриб *Aspergillus clavatus* викликає алергічне захворювання - т.зв. хворобу пивоварів (хвороба варильників солоду). Цей гриб оселяється на прілому ячмені і на солодовому пилу (солод - ячмінний цукор).



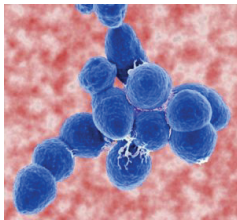
Пліснявий гриб *Pullularia* живе в теплих сирих приміщеннях і викликає алергічне захворювання - т.зв. хворобу тих, хто миється в сауні.

#### **4. Патогени в атмосферному повітрі (спори бактерій і грибів, віруси).**

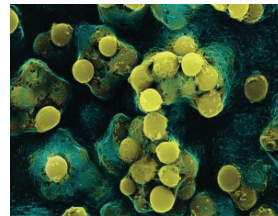
Спори бактерій і грибів зберігають високу життєздатність в найнесприятливіших умовах (навіть після польоту космічного корабля на Марс - в обшивці корабля знайшли життєздатні спори). Потрапляючи в дихальні шляхи або на шкіру людини - спори проростають, що провокує розвиток захворювань у людини.

Повітряно-крапельним шляхом передаються спори бактерій, грибів і віруси. Зокрема:

А) спори бактерій, збудників: туберкульозу (*Mycobacterium tuberculosis*); пневмонії (*Streptococcus peogenes*); менінгіту (*Streptococcus agalactiae*); отиту, пневмонії, менінгіту (*Streptococcus pneumonia*); дифтерії (дифтерійна паличка *Corynebacterium diphtheriae*); скарлатини (гемолітичний токсигенний стрептокок *Streptococcus pyogenes*); коклюшу (*Bordetella pertussis*); хвороби легіонерів (*Legionella pneumophila*); сибірської виразки (*Bacillus anthracis*) та ін.



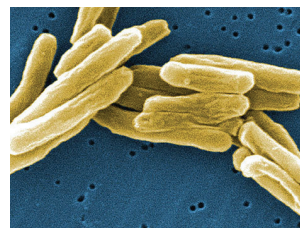
Пневмококки - викликають пневмонії.



Гемолітичні стрептококи - викликають скарлатину.



Менінгококи - викликають менінгіти.



Туберкульозні палички - викликають туберкульоз.

Б) віруси, збудники: грипу, натуральної віспи, вітряної віспи, кору, епідемічного паротиту, краснухи, поліомієліту та ін.

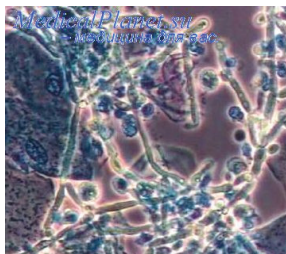
В) спори грибів, збудників мікозів.

Гриби живуть в ґрунтах, ростуть на деревині, тканинах, пластику, металі, харчових продуктах, в смітєвих відрах, в ванних кімнатах, в коморах і т.н. Спори потрапляють в організм при їх вдиханні і через пошкоджену шкіру. Відомо близько 300 видів мікроскопічних грибів, які викликають розвиток мікозів - тобто грибкових захворювань у людини. Причому, серед цих 300 видів грибів - тільки 150 видів є патогенними. Решта - небезпечні тільки при ослабленій імунній системі.

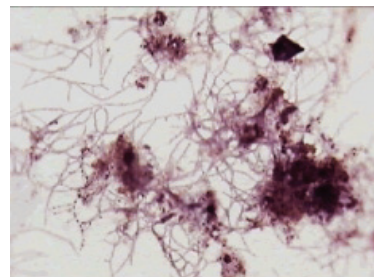
Наприклад, гриб аспергіл утворює зелені і чорні цвілі на харчових продуктах і викликає аспергільоз - захворювання, яке супроводжується високою температурою, кашлем, іноді - захворювання завершується летальним результатом. У нормі, потрапивши в легені - спори грибів і бактерій знищуються клітинами імунної системи (фагоцитуються альвеолярними макрофагами) і потім видаляються з дихальних шляхів за допомогою мукоцілярного кліренсу (тобто відкашлюються і відхаркуються).

Однак, спори деяких грибів можуть пригнічувати роботу фагоцитів легень. У дослідженнях було показано виживання спор гриба *Aspergillus fumigatus* всередині нейтрофілів і альвеолярних макрофагів. Гриби, що проросли в легенях, не тільки розселяються в тканинах, а й виділяють мікотоксини, а ферменти, що виділяються грибами (наприклад, еластаза), можуть пошкоджувати епітелій. Небезпечні по зараженню спорами грибів: сховища продуктів, бібліотеки, підприємства сільськогосподарського виробництва (птахівницькі і тваринницькі ферми), підприємства вугільної промисловості і т.н. Наприклад, в 1 м<sup>3</sup> шахтного повітря міститься 60 000 - 150 000 спор грибів *Penicillium* і *Aspergillus*.

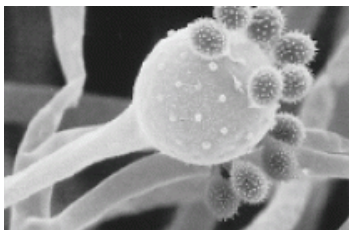
Наприклад, гриб нокардія - утворює в легенях пухлину, яка складається з щільного сплетіння гіфів цвілевих грибів нокардії. Захворювання називається нокардіоз. Наприклад, мукрові гриби з класу фікоміцетів вражають легені по типу туберкульозу. Наприклад, гриб лотріхон - вражає слизові і викликає захворювання геотріхоз, схоже за симптоматикою на отити і гайморити.



Ґрунтовий гриб *Coccidioides immitis*. Викликає кокцидіоз, який протікає у формі пневмонії.



Гриб нокардія утворює пухлини в легенях.

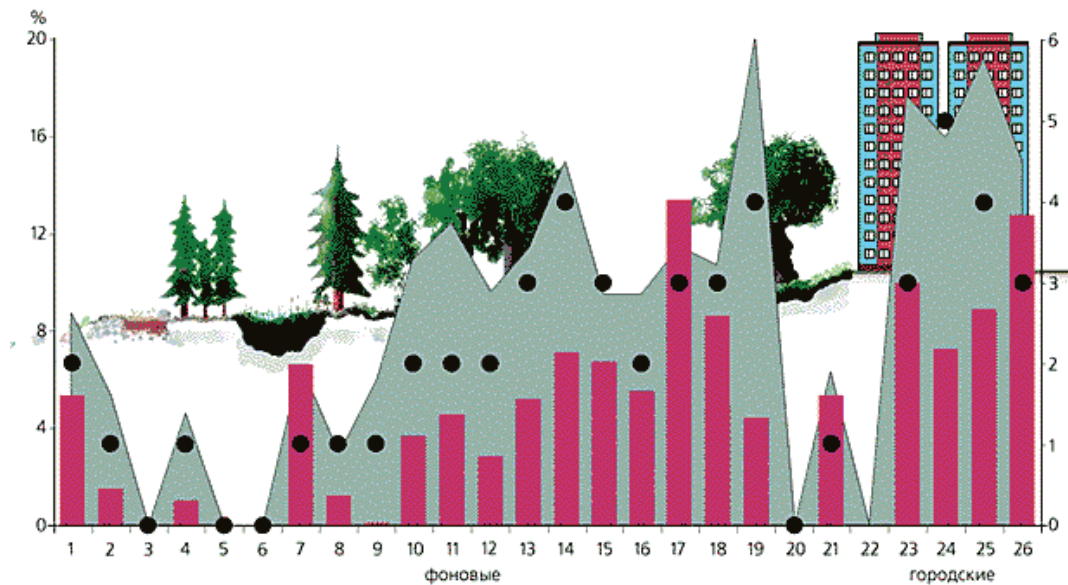


Гриб *Absidia corymbifera* викликає ураження легень за типом туберкульозу.



Бактерія, що викликає дифтерію

Проведені дослідження показали, що поширеність грибів, які викликають мікози, залежить від типу ґрунтів (див. рис).



Поширення патогенних грибів, що викликають мікози, в різних типах ґрунтів. По лівій шкалі - процентний вміст видів патогенних грибів щодо загального числа виділених видів (стовпчики), а також їх кількість; по правій шкалі - абсолютне число виділених видів патогенних грибів (чорні кружки). Типи ґрунтів: 1 - маршовий; 2 - примітивний; 3 - підбури; 4, 5 - підзол ілювіально-залізістий; 6, 7 - торф'яний болотний; 8-10 - дерново-підзолистий; 11-13 - сірий лісовий; 14, 15 - чорнозем; 16 - каштановий; 17- солонці; 18 - солончаки; 19 - бурозем; 20 - бурий лісовий; 21 - гірсько-луговий; 22-26 – міський ґрунт.

### **5. Оцінка санітарно-мікробіологічного стану атмосферного повітря.**

Санітарно-мікробіологічний стан атмосферного повітря оцінюється за такими показниками:

- а) мікробне число - це загальна кількість мікроорганізмів, виявлених в 1 м<sup>3</sup> повітря;
- б) наявність санітарно-показових бактерій певного типу в 1 м<sup>3</sup> повітря - представників мікрофлори дихальних шляхів (гемолітичні стрептококи, золотистий стафілокок або спеціальні продуценти в мікробіологічній промисловості).

Відбір проб повітря. Для визначення мікробного числа повітря в приміщеннях - застосовують такі методи:

1) седиментаційний метод - цей метод заснований на принципі осадження (седиментації). Дві чашки Петрі з поживним середовищем (агаром) залишають відкритими протягом 60 хв. Після чого інкубують при +37<sup>0</sup> С протягом 1 доби. Результати оцінюють по сумарному числу колоній, які виростили в обох чашках: менше 250 колоній - повітря чисте; 250 -500 колоній - забруднення середнього ступеня; більше 500 колоній - повітря забруднене.

2) аспіраційний метод - цей метод заснований на аспірації, тобто на прокачуванні досліджуваного повітря через поживне середовище. Для цього використовується апарат Кротова: повітря із заданою швидкістю прокачується електронасосом через щілину пластини, яка при цьому обертається. Під пластинною знаходиться чашка Петрі з поживним середовищем. Після відбору проб - чашки Петрі переносять в термостат на 1 - 2 доби при +37<sup>0</sup> С, і потім підраховують кількість колоній, що виростили.

### **Обчислення мікробного числа.**

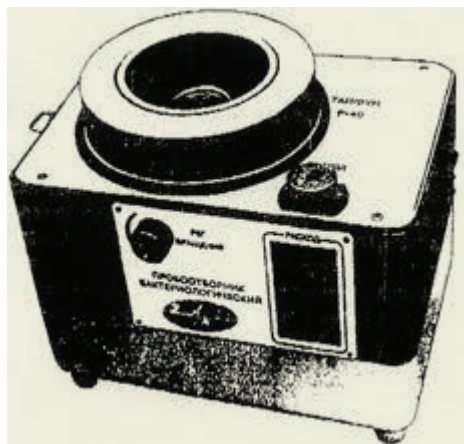
Обчислення мікробного числа, тобто встановлення кількості колоній мікроорганізмів в перерахунку на 1 м<sup>3</sup> повітря приміщення, проводиться за наступною формулою:

$$X = \frac{N \cdot 1000}{V}$$

Де: X - кількість колоній мікроорганізмів в перерахунку на 1 м<sup>3</sup> повітря приміщення, колоній/м<sup>3</sup>; N - кількість колоній, які виростили на поживному середовищі на чашці Петрі після



експозиції чашки Петрі в апараті Кротова; V - об'єм повітря, який був прокачаний через апарат Кротова, в літрах (обчислюється як добуток швидкості подачі повітря на час подачі повітря в апарат Кротова); 1000 - коефіцієнт перерахунку на 1 м<sup>3</sup> повітря.



Пробовідбірник Тайфун Р-40 (М) бактеріологічний (типу приладу Кротова) призначений для визначення загального бактеріального обмінення повітря з подальшим виділенням різних патогенних і санітарно-показових мікроорганізмів. Посів мікроорганізмів з навколишнього повітря здійснюється через калібрований отвір в оглядовому відсіку на чашку Петрі з поживним середовищем, закріплену на обертовому столику приладу. Прокачування повітря здійснюється за допомогою вбудованого в прилад роторного пневмонасоса, кріплення на обертовому столі універсальне, що дозволяє використовувати чашки Петрі різних модифікацій. У приладі Тайфун Р-40 М забезпечена герметичність внутрішньої камери і простий доступ до досліджуваного середовища. Швидкість обертання чашки плавно встановлюється за допомогою регулятора швидкості, розташованого на передній панелі приладу.



Флора-100 імпактор повітря мікробіологічний (пробовідбірник, пробовідбірний пристрій, аспіратор). Високопродуктивний сучасний імпактор "Флора-100" призначений для контролю мікробного обмінення (бактеріологічного аналізу) повітря чистих приміщень в медицині (операційних кімнатах, пологових будинках, станціях переливання крові), фармацевтичній та харчовій промисловості, а також для проведення моніторингу службами санепіднагляду. Імпактор "Флора-100" в автоматичному режимі відбирає заданий обсяг повітря (від 20 до 9999 літрів) зі швидкістю 200 л/хв і сприяє осадженню мікроорганізмів, що містяться в повітрі, на чашку Петрі (скляну або пластмасову). Після підросування визначають кількісну концентрацію мікроорганізмів.

Таблиця 1. Категорії забруднення повітря мікроорганізмами в непромислових приміщеннях

Категорії забруднення:	Бактерії, кількість колоній/м <sup>3</sup> повітря:	Гриби, кількість колоній/м <sup>3</sup> повітря:	Гриби, кількість колоній/грам пилу
дуже низьке	< 50	< 25	< 10 000
низьке	< 100	< 100	< 20 000
середнє	< 500	< 500	< 50 000
високе	< 2000	< 2000	< 120 000
дуже високе	> 2000	> 2000	> 120 000

Таблиця 2. Гранично-допустимі концентрації мікроорганізмів (ГДК), які використовуються в біотехнологічному виробництві, в атмосферному повітрі населених пунктів.

Найменування організму-продуцента, його призначення:	ГДК, кл/м <sup>3</sup>
<i>Aspergillus awamori</i> 120/177*, синтез глюкоамілази	200
<i>Aspergillus terreus</i> 44-62*, синтез ловастатину	30
<i>Bacillus subtilis</i> 65*, синтез нейтральної протеїнази і амілази	4000
<i>Bacillus subtilis</i> 72, синтез лужної протеази	5000
<i>Bacillus subtilis</i> 103, синтез нейтральної протеази	5000
<i>Bacillus licheniformis</i> 1001*, синтез бацитрацину	5000
<i>Candida tropicalis</i> Y-456*, синтез ксиліту	30
<i>Penicillium canescens</i> F-832*, синтез ксиланази	200
<i>Trichoderma viride</i> 44-11-62/3*, синтез комплексу целюлітичних ферментів	200

\* - мікроорганізми, здатні викликати алергічні захворювання

### **6. Встановлення видової приналежності грибів і бактерій, що забруднюють атмосферне повітря.**

Встановлення видової приналежності бактерій і грибів, що забруднюють атмосферне повітря, проводяться на підставі:

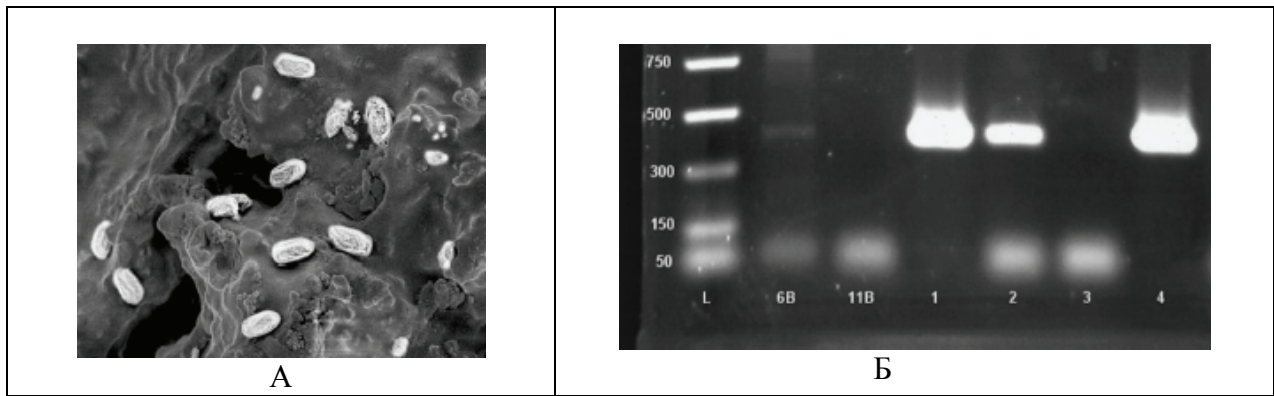
#### 1) морфологічного аналізу культивованих колоній.

Для культивування грибів зазвичай застосовують середовище Сабуро і агар з картопляним крохмалем або кукурудзяним борошном. Для блокування розвитку бактерій - в середовище додають антибіотики (наприклад, біоміцин). Наприклад, для дріжджового гриба *Candida tropicalis* Y-456 (продуцента ксиліту): поживне середовище сусло-агар; через 2-3 доби в термостаті при +37 °С гриб утворює круглі кремуваті колонії з рівним краєм, середній розмір колонії 0,3 см. В центрі колонії утворюється невеличке підвищення - «горбок», на поживному середовищі з краю колонії з'являється маленьке жовто-помаранчеве забарвлення.

Для проведення бактеріологічного аналізу, наприклад, для виявлення ґрунтових бактерій *Bacillus subtilis* 103 (продуцентів нейтральної протеази): поживне середовище м'ясо-пептонний агар + глюкоза, + 37 °С, 24 години. Штам утворює великі округлі колонії, діаметр яких становить 1,2 - 1,3 см. Край колонії - слабо хвилястий, з дрібними розвиненими складками в центральній верхній частині. Колонії плоскі, матові, слизові, такі, що не врастають в агар. Колір колонії від слабо кремового до жовтого. Контроль 1: бактерії *Bacillus subtilis* 103 - стійкі до ампіциліну (а інші бактерії - чутливі). Контроль 2: якщо в поживне середовище додати білок казеїн - то навколо цих колоній на тлі біло-мутно-молочному будуть прозорі зони (тому що ця бактерія виділяє протеазу, яка розщеплює цей білок).

#### 2) на підставі аналізу ДНК, виділеної зі спор або колоній мікроорганізмів:

- зі зразка виділяють ДНК;
- виділену ДНК ріжуть на фрагменти різної довжини за допомогою ферментів рестриктаз;
- для накопичення маркерного фрагмента - перед проведенням ПЛР-реакції в реакційну суміш вводять ДНК-затравки, комплементарні одній з ділянок ДНК, специфічної для конкретного штаму мікроорганізмів;
- проводять ПЛР-реакцію;
- за допомогою електрофорезу поділяють фрагменти ДНК по масі;
- фарбують пластинку гелю;
- по накопиченню фрагментів ДНК певного типу встановлюють присутність мікроорганізмів конкретного штаму.



А. Скануюча електронна мікрофотографія спор бактерій сибірської виразки *Bacillus anthracis* (за Edmonds et al., 2009). Б. Результати ДНК аналізу зразків, контрольних та підозрілих на присутність спор бактерій сибірської виразки *Bacillus anthracis*. Лінія L - індикатор молекулярної маси фрагментів ДНК; лінія 3 - контроль, який не містить спори бактерій сибірської виразки; лінія 4 - контроль, який містить спори бактерій сибірської виразки; 6B, 11B, 1, і 2 - тестовані зразки, підозрілі за присутністю спор бактерій сибірської виразки (за Higgins et al., 2003).

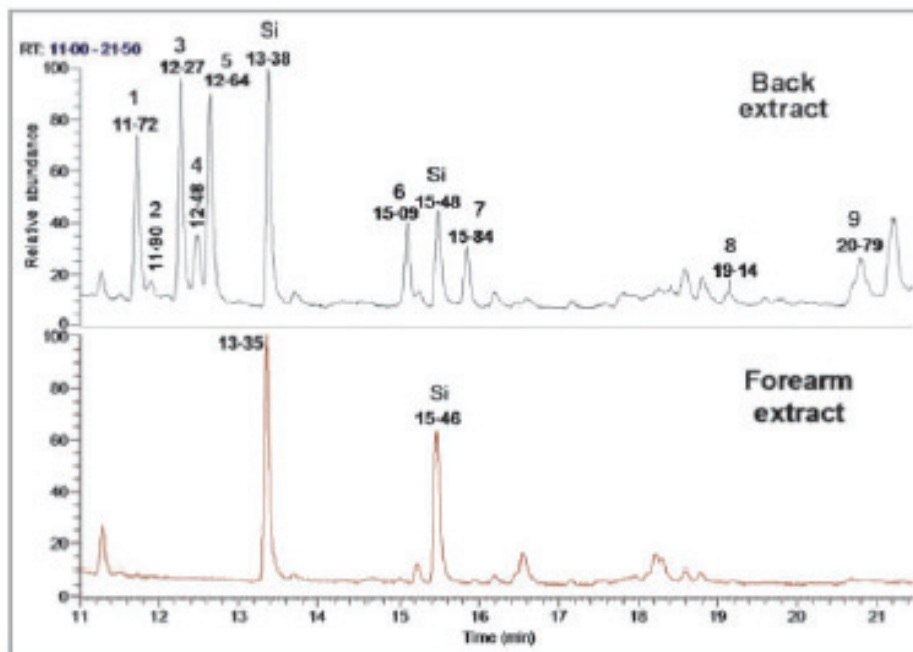
### 7. Летючі продукти життєдіяльності організмів.

Летючі продукти життєдіяльності організмів виявляють за допомогою газової хроматографії + мас-спектрометрії проб повітря.

Фізіологічна дія летючих продуктів життєдіяльності організмів:

А) токсична і нейротоксична (в зоні дії таких речовин людина відчуває млявість, сильну втомлюваність, впадає в стан депресії і т.н.);

Б) регуляторна (серед продуктів життєдіяльності живих організмів присутні феромони небезпеки, феромони агресії і т.н.).



Результати газової хроматографії-мас-спектрометрії летючих органічних речовин, які виділяє шкіра людини. Верхня крива - спина, нижня крива - долоні. По осі ОХ - час виходу речовин з хроматографічної колонки (залежить від летючості речовини). По осі ОУ - відносна кількість виявленої речовини. Цифри близько піків хроматограми вказують час виходу даного компонента з хроматографічної колонки: 1) 11-72; 2) 11-90; 3) 12-27; 4) 12-48; 5) 12-64; 6) 15-09; 7) 15-84; 8) 19-14; 9) 20-79 (для верхньої хроматограми) (за Gallagher et al., 2008).

Таблиця 3. Летючі органічні речовини, які виділяє шкіра людини (частина таблиці) (за Gallagher et al., 2008).

Час виходу речовини з колонки (хв):	Назва речовини:
4-82	2-пропанон (ацетон)
10-80	1-бутанол
11-49	4-етил-морфолін
11-60	піридин
11-72	3-гексанол
11-90	2-метил-циклопентанон
12-27	2-гексанол
12-48	3-метил-циклопентанон
12-64	1-метил-циклопентанол
13-43	p-цимен
13-79	октанал
14-42	2-метил-циклопентанол
14-72	метиловий ефір молочної кислоти
15-09	3-метил-циклопентанол
15-84	1,6-гептадієн-4-ол
16-24	нонанал
16-96	1-оцен-3-ол
17-65	оцтова кислота
18-03	2,6-диметил-7-октен-2-ол
18-15	2-етил гексанол
18-64	деканал
19-14	2,5-гексанедіон
19-24	1- (2-метоксіпропоксі)-2-пропанол
19-42	камфор
19-52	бензальдегід
19-56	ліналул
19-66	1-метил гексил ацетат
19-81	пропанова кислота
20-79	6-гідрокси-гексан-2-он
20-68	4-ціаноцилгексен .....

#### Контрольні питання:

1. Типи біологічного забруднення атмосферного повітря.
2. Алергени в атмосферному повітрі.
3. Виробничі алергії.
4. Патогени в атмосферному повітрі (спори бактерій і грибів, віруси).
5. Оцінка санітарно-мікробіологічного стану атмосферного повітря.
6. Встановлення видової приналежності грибів і бактерій, що забруднюють атмосферне повітря.
7. Летючі продукти життєдіяльності організмів.

#### Література:

- 1) Higgins J.F., Cooper M., Schroeder-Tucker L., Black S., Miller D., Karns J.S., Manthey E., Breeze R., Perdue M.L. A field investigation of *Bacillus anthracis* contamination of U.S. Department of Agriculture and other Washington, D.C., buildings during the anthrax attack of October 2001 // Appl. Env. Microbiol. – 2003. – Vol. 69, No. 1. – P. 593-599.
- 2) Edmonds J.M., Collett P.J., Valdes E.R., Skowronski E.W., Pellar G.J., Emanuel P.A. Surface sampling of spores in dry-deposition aerosols // Appl. Env. Microbiol. – 2009. – Vol. 75, No.1. – P. 39-44.
- 3) Gallagher M., Wysocki C.J., Leyden J.J., Spielman A.I., Sun X., Preti G. Analysis of volatile organic compounds from human skin // Br. J. Dermatol. – 2008. – Vol. 159(4). – P. 780-791.

**Лекція 15**

**Частина 1. Джерела забруднення природних водних об'єктів. Встановлення рівня антропогенного забруднення води.**

Типи забруднення водних об'єктів: 1) механічне забруднення (зважені частинки продуктів ерозії поверхні суші + частинки в складі стічних вод; банки, пляшки та ін. сміття і т.н.); 2) фізичне забруднення (радіаційне, радіохвильове, теплове і т.н.); 3) хімічне забруднення (неорганічні і органічні речовини природного і техногенного походження); 5) біологічне забруднення (патогенні бактерії, найпростіші, черви; біоінвазивні види-вселенці з інших акваторій і т.н.).

**1. Джерела хімічного забруднення водних об'єктів.**

**Природні джерела забруднення водних об'єктів:**

- перенесення в водні об'єкти продуктів водної та вітрової ерозії поверхні суші;
- змив нерозкладених залишків рослин і тварин з суші в водні об'єкти;
- продукти життєдіяльності водних організмів (наприклад, токсини синьо-зелених водоростей, токсини червоних водоростей і т.п.);
- недоокислені продукти розкладання відмерлих водних організмів (наприклад, накопичення сірководню в придонних шарах Чорного моря, тощо).



«Жовта річка» (р. Хуанхе) в Китаї - переважана продуктами ерозії (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Токсичне «червоне цвітіння води», викликане гіперрозмноженням найпростіших дінофлагелат, які виділяють в воду токсини для самозахисту або для знищення конкурентів за ресурси (за <https://yandex.fr/images/search>).

**Техногенні джерела забруднення водних об'єктів:**

- скидання неочищених комунальних та промислових стічних вод;
- аварійний витік забруднюючих речовин в процесі роботи підприємств, транспортування небезпечних вантажів і т.н.;
- захоронення відходів на дні водойм і т.н.

**2. Відбір проб води та донних відкладень для виявлення фактів їх хімічного забруднення.**

Для встановлення фактів потрапляння у водні об'єкти забруднюючих речовин - інспекторами проводиться відбір проб в різні пори року і доби на різних глибинах. Відбір проб здійснюється за допомогою спеціальних приладів - батометрів. Пляшкові батометри

дозволяють проводити забір проб води на різних глибинах водойм, тоді як робота з донними батометрами - забезпечує забір проб донних відкладень.



Батометр пляшковий для відбору проб води на різних глибинах (за <http://www.wikikip.ru/goods/>).

### **3. Аналіз проб води на наявність хімічних забруднюючих речовин.**

Аналіз проб води на наявність забруднюючих речовин включає:

а) експрес-аналіз за допомогою індикаторних трубок, індикаторних кубиків і індикаторних таблеток на місці забору проб води;



Індикаторні трубки для експрес-аналізу якості води (за [http://granat-e.ru/gastec\\_water\\_tubes.html](http://granat-e.ru/gastec_water_tubes.html)).

б) лабораторний аналіз на присутність важких металів (атомно-абсорбційний аналіз) і аналіз на наявність органічних забруднюючих речовин (хроматографія + мас-спектрометрія);  
в) аналіз на кількість кисню у воді і т.н.

### **4. Встановлення рівня антропогенного забруднення води.**

Показник рівня антропогенного забруднення води ( $K_i$ ) (або коефіцієнт концентрації речовини) обчислюють таким чином:

$$K_i = \frac{C_i}{C_f}$$

Де:  $C_i$  - концентрація і-речовини в пробі води в умовах господарського впливу на водний об'єкт;  $C_f$  - концентрація і-речовини в природних водах, не забруднених в результаті господарської діяльності людини.

Сумарний показник антропогенного забруднення води:

$$Z_c = (\sum K_i) - (n-1)$$

Де:  $Z_c$  - сумарний показник антропогенного забруднення води;  $\sum K_i$  - сума коефіцієнтів концентрації забруднюючих речовин в пробі води;  $n$  - кількість врахованих забруднюючих речовин в пробі води.

Таблиця. Орієнтовна шкала оцінки забруднення водних систем за сумарним показником забруднення токсичними елементами (важкими металами) донних відкладень (за «Геохимия...», 1990»).

Рівень забруднення:	Сумарний показник забруднення токсичними елементами донних відкладень, Zс:	Вміст токсичних елементів у воді:
Слабкий	< 10	Слабкопідвищений відносно природного фону
Середній	10 - 30	Підвищений щодо природного фону; епізодичне перевищення ГДК
Сильний	30 -100	Набагато вище природного фону; стабільне перевищення окремими елементами рівнів ГДК
Дуже сильний	> 100	Практично постійна присутність багатьох елементів в концентраціях вище ГДК

### **5. Поняття ГДК і ГДВ.**

**ГДК (гранично-допустима концентрація)** забруднюючої речовини у воді - це кількість забруднюючої речовини, яке не впливає негативно на живий організм.

**ГДВ (гранично-допустимий викид)** стічних вод - це викид, після розведення якого в природних водах, концентрація забруднюючих речовин не повинна перевищувати значення ГДК для кожної зі скинутих речовин.

## **Частина 2. Оцінка якості води**

Нормативи якості води залежать від типу водокористування: а) для питних цілей; б) для господарсько-побутових потреб; в) для рибо-господарського водокористування.

### **1. Загальна оцінка якості води.**

Загальна оцінка якості води проводиться на підставі наступних показників:

- температура води (температура води не повинна бути вище, ніж на +3<sup>0</sup>С в порівнянні з літньою середньомісячною температурою води);
- кислотність води, рН (для питної води рН = 6,5, для купання рН = 8,5);
- органолептичні властивості води (смак, колір, запах, прозорість);
- загальна жорсткість води (концентрація іонів Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>);
- показник евтрофікації (сума іонів калію, фосфору, азоту);
- вміст кисню, показники ХЗК та БПК (ХЗК - хімічне зв'язування кисню, БПК - біологічне поглинання кисню);
- вміст неорганічних і органічних забруднюючих речовин (важкі метали, пестициди, органометалеві похідні і т.н.);
- рівень біологічного забруднення води (наявність найпростіших, бактерій, яєць глистів).

### **2. Вміст кисню у воді.**

Кисень надходить в воду з атмосферного повітря. При нестачі кисню в воді - починають гинути організми, які потребують кисень для дихання. Причиною нестачі кисню у водоймі може бути: а) відсутність доступу кисню з атмосфери (наприклад, внаслідок замерзання поверхні водойми в зимовий період, або - внаслідок закриття поверхні водойми водоростями); б) вихід кисню з води при високих температурах води (провокує т.зв. літні замори риби у водоймах); в) брак кисню у воді в наслідок забруднення води органічними і неорганічними речовинами, на окислення яких витрачається кисень.

**Характеристика водойм (і стічних вод) по Кольквітцу за рівнем сапробності** (за рівнем нестачі кисню в воді, що призводить до розвитку у водоймі гнильних процесів) («сапрос» - гниття):

- 1) олігосапробна водойма: у воді багато кисню, немає донних відкладень;
- 2) бета-мезосапробна водойма: в воді вдень багато кисню, а вночі - мало кисню; донні відкладення - жовті мули;
- 3) альфа-мезосапробна водойма: в воді мало кисню; донні відкладення - сірі мули;
- 4) полісапробна водойма: в воді мало кисню, донні відкладення - сапропелі.

### **Оцінка рівня забруднення води за показниками ХЗК та БПК.**

ХЗК (хімічне зв'язування кисню) - це кількість кисню, яку необхідно додати до 1 л проби води, щоб окислити все речовини, присутні в цій воді.

БПК (біологічне поглинання кисню) - це кількість кисню, яка необхідна мікроорганізмам, щоб окислити все речовини в 1 л проби води: а) за 2 дні (показник БПК<sub>2</sub>); б) за 5 днів (показник БПК<sub>5</sub>).

### **3. Оцінка рівня хімічного забруднення води.**

На підставі даних приладів за рівнем хімічного забруднення води обчислюють коефіцієнт екологічної небезпеки води (Кен):

Кен = Концентрація речовини в пробі води

Гранично допустима концентрація даної речовини в воді

Значення гранично-допустимої концентрації конкретної речовини в воді знаходять в довідкових таблицях. У нормі, величина коефіцієнта екологічної небезпеки не повинна перевищувати одиниці. Якщо в пробі води виявлено присутність кількох забруднюючих речовин з подібним механізмом дії - тоді в нормі сума коефіцієнтів екологічної небезпеки даних речовин не повинна перевищувати одиниці:  $Кен_1 + Кен_2 + \dots + < 1$ .

Проведення біотестування для оцінки токсичності води. Хімічний аналіз не завжди дозволяє однозначно сказати про можливий рівень небезпеки проби води для живих організмів, оскільки на організм діють одночасно різні речовини і результат їх взаємодії практично не можливо передбачити. Для вирішення цієї проблеми використовують методи біотестування. Серед них - тест з водними організмами на токсичність проби води: на 24 год, 48 год, 72 год, 96 год в пробу води поміщають або найпростіших інфузорій, або рачків дафній, або спеціальні види водоростей - і оцінюють швидкість їх розмноження, використовуючи мікроскоп. На підставі отриманих даних обчислюють індекс токсичності води (Т):

$$T = \frac{(I_k - I_d)}{I_k} \cdot 100\%$$

Де: Т - індекс токсичності проби води;  $I_k$  - швидкість розмноження організмів в контрольних умовах, тобто в чистій воді;  $I_d$  - швидкість розмноження організмів в тестованій пробі води, досліджувана проба води.

Індекс токсичності питної води для індикаторних організмів, не повинен перевищувати 50% (за умови відсутності в воді неідентифікованих компонентів).

Метод біотестування також застосовують в тому випадку, якщо в результаті проведення рідинної хроматографії + мас-спектрометрії досліднику не вдалося встановити тип забруднюючої речовини, присутньої у воді.

### **4. Оцінка рівня біологічного забруднення води.**

Для виявлення рівня біологічного забруднення води:

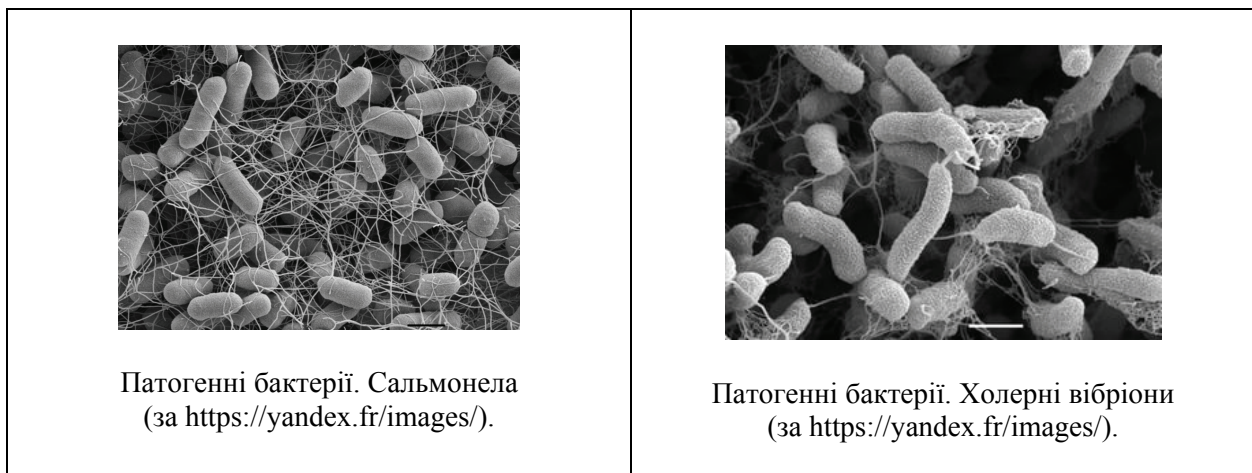
- а) на наявність яєць глистів - пробу води певного обсягу фільтрують і під мікроскопом на фільтрі виявляють яйця глистів;
- б) під мікроскопом виявляють присутність найпростіших в пробі води;
- в) встановлюють забруднення води кишковою паличкою. NB! Кишкова паличка не є патогеном, вона - коменсал. Тобто, самі по собі кишкові палички не є небезпечними для людини: однак, їх присутність в пробах води, свідчить про забруднення води фекаліями, а разом з фекаліями - в воду можуть потрапляти не тільки бактерії кишкової палички, але також і патогенні бактерії, що викликають холеру, дизентерію, тиф і т.н.





\*NB! Методи виявлення бактерій - досить трудомісткі і дорогі. Вони базуються на складних аналізах і доступні тільки спеціалізованим добре обладнаним лабораторіям. Однак, існує досить простий метод оцінки бактеріальної забрудненості води - шляхом визначення колі-титру. Суть методу полягає в тому, що в воді встановлюють присутність бактерій кишкової палички *Escherihia coli*. Кишкова паличка - це бактерія коменсал, яка живе в товстому кишечнику людини.

Щодня мільярди різних бактерій потрапляють в навколишнє середовище з екскрементами. Серед них 80-95% складають бактерії кишкової палички; інші бактерії - представлені хвороботворними штамми. В цілому, кількість бактерій кишкової палички у воді опосередковано вказує на ступінь бактеріального забруднення води фекаліями, в результаті якого в воді можуть опинитися і патогенні мікроорганізми. При цьому слід пам'ятати, бактерії кишкової палички зберігають свою життєздатність поза організмом людини значно довше, ніж патогенні бактерії.



На сьогоднішній день розроблені досить прості методи виявлення бактерій кишкової палички в пробах води. Метод колі-титру широко використовується в усьому світі для оцінки бактеріальної забрудненості водних об'єктів. Перевищення санітарних норм за вмістом бактерій кишкової палички свідчить про потенційну небезпеку використання води для пиття або купання. Метод колі-титру заснований на здатності бактерій кишкової палички розмножуватися на поживних середовищах, що містять лактозу, і утворювати там колонії. Одна бактерія, розмножуючись на поживному середовищі, що містить лактозу, - дає одну колонію, видиму неозброєним оком. Є невелика кількість інших бактерій, які можуть також розмножуватися на лактозі. Але, при фарбуванні реактивом Грама - бактерії кишкової палички не фарбуються (тобто, є грам-негативними), тоді як інші бактерії, що ростуть на лактозі, - є грам-позитивними.

Визначення коли-титру питної води. Для визначення коли-титру питної води - пробу води багаторазово розбавляють (наприклад: 1:10, 1:100, 1:1000 і т.н.). Потім, розбавлені проби води переносять на ч. Петрі, що містять поживні середовища з цукром лактозою для росту бактерій кишкової палички. Пробу води рівномірно розподіляють шпателем по поверхні поживного середовища в ч. Петрі. Чашки Петрі поміщують в термостат при температурі +43<sup>0</sup>С на 24 години. При наявності бактеріального забруднення води - через 24 години в чашках Петрі появляються колонії бактерій. Колонії забарвлюють по Граму. Незабарвлені колонії належать кишкової паличці. Дослідник підраховує кількість колоній, які виростили, і обчислює значення показника коли-індексу та коли-титру.

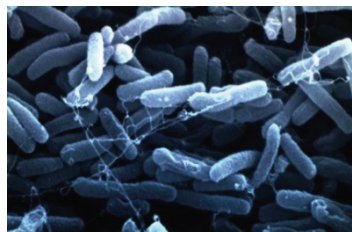
Колі-індекс - це кількість бактерій кишкової палички, які знаходяться в 1000 мл проби води. Колі-титр - це кількість мілілітрів води, в якій міститься одна бактерія кишкової палички. Рівень бактеріального забруднення води оцінюють, враховуючи наступну градацію:

коли-титр = 300 – вода, придатна до пиття (т.т. в 300 мл води знаходиться 1 бактерія);

коли-титр = 100 – вода, придатна для купання;

коли-титр = 10 - вода, придатна для технічного використання;

коли-титр = 0,1 – вода, не придатна для використання.



Бактерії кишкової палички під електронним мікроскопом (за <http://ozhivote.ru/vidyi-kishechnyih-palochek/>).



Колонії кишкової палички в чашці Петрі (за <http://shop-money.ru/modules>).

### Контрольні питання:

1. Відбір проб води та доних відкладень для аналізу.
2. Експрес-методи аналізу якості води.
3. Лабораторні методи виявлення присутності у воді важких металів та органічних забруднюючих речовин.
4. Техногенна евтрофікація води. Причини та наслідки.
5. Поняття «сапробності» водоймища. Олігосапробні, мезосапробні, полісапробні водойми.
6. Показник хімічного зв'язування кисню (ХЗК).
7. Показник біологічного споживання кисню (БСК).
8. Основні санітарно-гігієнічні показники якості води.
9. Розрахунок коефіцієнту екологічної небезпеки (Кен) та сумарного техногенного забруднення води (Zc).
10. Використання біологічних тестів для оцінки токсичності та мутагенності питної води.
11. Показники біологічного забруднення води: коли-індекс, коли-титр.

### Література:

1. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". 2010. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>
2. N 4630-88, 04.07.1988, Правила, Норми, Органи влади СРСР Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення. СанПіН 4630-88. <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1076.772.0>.
3. 28. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD).
4. ДСТУ 4173-2003. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD).
5. ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD).

6. ДСТУ EN 1420-1:2004. Якість води. Визначання впливу органічних речовин на якість води, призначеної для споживання людиною. Оцінювання води в трубопровідних системах на запах. - Частина 1. Метод випробування (EN 1420-1:1999, IDT).
7. ДСТУ EN 1484-2003. Дослідження води. Настанови щодо визначання загального і розчиненого органічного вуглецю (EN 1484:1997, IDT).
8. ДСТУ ISO 6332-2003. Якість води. Визначання заліза. Спектрометричний метод із використанням 1, 10 - фенатроліну (ISO 6332:1988, IDT).
9. ДСТУ ISO 6468-2002. Якість води. Визначення вмісту окремих хлорорганічних інсектицидів, поліхлорованих біфенілів та хлорбензолів. Метод газової хроматографії після екстракції типу "рідина - рідина" (ISO 6468:1996, IDT).
10. ДСТУ ISO 6703-1:2007. Якість води. Визначення ціанідів. Частина 1. Визначення загального вмісту ціанідів (ISO 6703-1:1984, IDT).
11. ДСТУ ISO 6777-2003. Якість води. Визначання нітритів. Спектрометричний метод молекулярної абсорбції (ISO 6777:1984, IDT).
12. ДСТУ ISO 6778-2003. Якість води. Визначання амонію. Потенціометричний метод (ISO 6778:1984, IDT).
13. ДСТУ ISO 7027-2003. Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT).
14. ДСТУ ISO 7887-2003. Якість води. Визначання і досліджування забарвленості (ISO 7887:1994, IDT).
15. ДСТУ ISO 9696-2001. Захист від радіації. Вимірювання альфа-активності у прісній воді. Метод концентрованого джерела (ISO 9696:1992, IDT).
16. ДСТУ ISO 9963-1:2007. Якість води. Визначення лужності. - Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT).
17. ДСТУ ISO 10301-2004. Якість води. Визначання високолетких галогенованих вуглеводнів методом газової хроматографії (ISO 10301:1997, IDT).
18. ДСТУ ISO 10304-3:2003. Якість води. Визначання розчинених аніонів методом рідинної іонної хроматографії. - Частина 3. Визначання хромату, йодиду, сульфїту, тіоціанїду та тіосульфату (ISO 10304-3:1997, IDT).
19. ДСТУ ISO 10304-4:2003. Якість води. Визначання розчинених аніонів методом рідинної хроматографії. - Частина 4. Визначання хлорату, хлориду і хлориту у воді з низьким рівнем забруднення (ISO 11885:1996, IDT).
20. ДСТУ ISO 11885-2005. Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ISO 6777:1984, IDT).
21. ДСТУ ISO 17993:2008. Якість води. Визначення 15 поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) у воді методом високоефективної рідинної хроматографії з флуоресцентним детектуванням після рідинно-рідинного екстрагування (ISO 17993:2002, IDT).
22. Методичні вказівки. Санітарно-вірусологічний контроль водних об'єктів, затверджені наказом МОЗ від 30.05.2007 N 284.
23. Методичні вказівки. МВ 10.2.1-113-2005. Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води, затверджені наказом МОЗ від 03.02.2005 N 60.
24. Методичні вказівки. МВ 10.10.2.1-071-00. Санітарно-паразитологічні дослідження води питної.
25. Методичні вказівки N 0052-98 Газохроматографічне визначення тригалогенметанів (хлороформу) у воді, затверджені постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.02.99 N 2.
26. Методичні рекомендації. МР 10.10.2.1-137-2007. Застосування тестових наборів COLILERTR-18 для санітарно-бактеріологічного контролю якості води, затверджені наказом МОЗ від 24.01.2007 N 24.
27. Методичні рекомендації. МР 10.10.21-155-2008. Визначення найбільш вірогідного числа мікроорганізмів у воді з використанням тестів діагностичних Quanti-Disk та SimPlate, затверджені наказом МОЗ від 14.03.2008 N 138.
28. Руководящий документ. РД 52.24.66-88. Методические указания по определению содержания галогенорганических пестицидов и их метаболитов в поверхностных водах.
29. Руководящий документ. РД 52.24.81-89. Методические указания по определению массовой концентрации цинка, меди, марганца, железа в природных водах атомно-абсорбционным методом с атомизацией пробы в пламени.
30. Руководящий документ. РД 52.24.473-95. Газохроматографическое определение летучих ароматических углеводородов в водах.
31. Руководящий документ. РД 118.02.28.88. Методика фотометрического определения мышьяка (III) и мышьяка (V).
32. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саев, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. - М.: Недра, 1990. -335 с.

**Частина 1. Самоочищення водних об'єктів від природних і техногенних забруднюючих речовин.**

**1. Шляхи самоочищення водних об'єктів.**

Самоочищення водних об'єктів від природних і техногенних забруднюючих речовин передбачає: 1) механічний винос забруднюючих речовин з потоком води; 2) осідання забруднюючих речовин на геохімічних і біологічних бар'єрах; 3) фізичне, хімічне та біологічне розкладання забруднюючих речовин.

**2. Механічний винос забруднюючих речовин за межі водного об'єкта.**

Механічний винос забруднюючих речовин за межі водного об'єкта залежить:

а) для річок: від швидкості руху потоку води, від витрати води рікою, від звивистості і глибини русла річки;

б) для озер: від проточності озера (тобто від наявності поверхневого і підземного водообміну озера з іншими водоймами);

в) для морів/океанів: від швидкості течій (вітрових, припливних, градієнтних), від інтенсивності згінно-нагінних явищ, від інтенсивності конвективного перемішування вод і т.н.

**3. Осідання забруднюючих речовин на геохімічних і біологічних бар'єрах.**

Геохімічні бар'єри. При уповільненні швидкості руху потоку води - зважені у воді частинки забруднюючих речовин поступово осідають, входячи до складу донних відкладень. Крім того, поверхневі води поступово фільтруються в більш глибоко розташовані шари підстелюючої гірської породи. При цьому в процесі фільтрації частина забруднюючих речовин осідає на частинках донних відкладень і підстелюючої гірської породи, яка формує русло річки.

Біологічні бар'єри. Живі організми, що мешкають у водоймі - водорості, вищі водні рослини, найпростіші, гриби, тварини - вибірково накопичують в своєму тілі ті чи інші забруднюючі речовини. Після загибелі цих організмів - накопичені в їх клітинах і тканинах забруднюючі речовини переходять до складу донних відкладень.

Ефективність геохімічних і біологічних бар'єрів. Утримання забруднюючих речовин на геохімічних і біологічних бар'єрах сприяє самоочищенню води від забруднюючих речовин. Ефективність геохімічних бар'єрів визначається швидкістю течії води у водному об'єкті, інтенсивністю фільтрації поверхневих вод під землю, складом підстелюючої русло гірської породи (типом і розміром частинок) і т.н. Ефективність біологічних бар'єрів залежить від чинників, що сприяють розвитку живих організмів в даній водоймі: температурою навколишнього середовища, доступністю кисню, світла і т.н.

При зміні хімічного складу води, температури навколишнього середовища, доступності кисню, вуглекислого газу і т.н. - можливий зворотний перехід забруднюючих речовин з фракції донних відкладень в водну фракцію, що призводить до повторного забруднення води.

**4. Розкладання забруднюючих речовин.**

У водних об'єктах відбувається поступове руйнування забруднюючих речовин під дією фізичних, хімічних і біологічних факторів навколишнього середовища:

а) фізичні фактори: високі температури, дія ультрафіолетового та іонізуючого випромінювання і т.н.;

б) хімічні фактори: кисень; вуглекислий газ; солі, розчинені у воді; взаємодія забруднюючих речовин між собою і т.н. - здатні приводити до руйнування забруднюючих речовин, що знаходяться у воді;

в) біологічні фактори: кислоти і ферменти, що виділяються живими організмами в процесі їх життєдіяльності, також здатні руйнувати забруднюючі речовини.

**5. Природний потенціал самоочищення поверхневих водойм.** Кожне водне середовище здатне до самоочищення, швидкість якого залежить від швидкості водообміну, від фізико-хімічних характеристик води, від продуктивної діяльності живих організмів, від інтенсивності антропогенного забруднення природного середовища, тощо. Можна виділити окремі групи факторів, які впливають на самоочищення води: її температурний режим, кольоровість і гідрологічні характеристики.

Температурний режим значною мірою зумовлює процес біотичного самоочищення через мінералізацію природних і антропогенних домішок у воді. Експериментальні дослідження показали, що при зниженні температури води від оптимальної +20°C до +16°C процес самоочищення уповільнюється не більше, ніж на 20%, що допустимо гігієнічно.

Рівень прозорості води в основному залежить від концентрації гумінових і фульвокислот, які здебільшого надходять до водних об'єктів шляхом виносу з ґрунтів. Концентрація їх пропорційна збільшенню кольоровості води. Тому біотична складова потенціалу самоочищення води (Б) визначається за формулою:

$$B = \frac{A \cdot j}{365}$$

Де: Б - біотична складова потенціалу самоочищення поверхневих вод; А - кількість днів в році з температурою води вище, ніж +14°C; j - індекс прозорості води: чим більше реальна кольоровість води, тим нижче індекс прозорості. NB! Каламутність, кольоровість дають фульво- і гумінові кислоти, вимиті з ґрунтів, а вони - токсичні для водних мешканців.

Каламутність (кольоровість) води за показниками фотоколориметру:	Індекс прозорості води, j:
0 <sup>0</sup> - 30 <sup>0</sup>	1,0
30 <sup>0</sup> - 60 <sup>0</sup>	0,9
60 <sup>0</sup> - 90 <sup>0</sup>	0,8
90 <sup>0</sup> - 120 <sup>0</sup>	0,7
Вище 120 <sup>0</sup>	0,6

\*NB! Значення показника кольоровості води на території України для більшості водомірних постів коливається в межах від 0° до 30°; значно менше зареєстровано контрольних точок з показниками кольоровості від 30° до 60°; значення кольоровості більші ніж 60° мають лише деякі річки басейну Південного Бугу, Десни та Прип'яті.

Проведені науковцям України розрахунки свідчать про те, що біотичний потенціал поверхневих вод для рівнинних річок України є досить низьким і, в середньому, становить 0,36, а для гірських і малих - ще нижчий. Тому значне антропогенне забруднення річок, особливо малих, створює певні екологічні ризики для живих організмів - мешканців водних об'єктів. Ці ризики значною мірою залежать від тих гідрологічних характеристик водних об'єктів, які визначають величину розбавлення забруднюючих речовин. Зокрема, одним з найважливіших гідрологічних показників є показник середньої багаторічної витрати води (м<sup>3</sup>/с). Оскільки різниця витрати води для малих і великих річок є дуже великою, коефіцієнти витрат води визначали шляхом ділення показника витрати води певного водомірного поста на середню його величину для річок України.

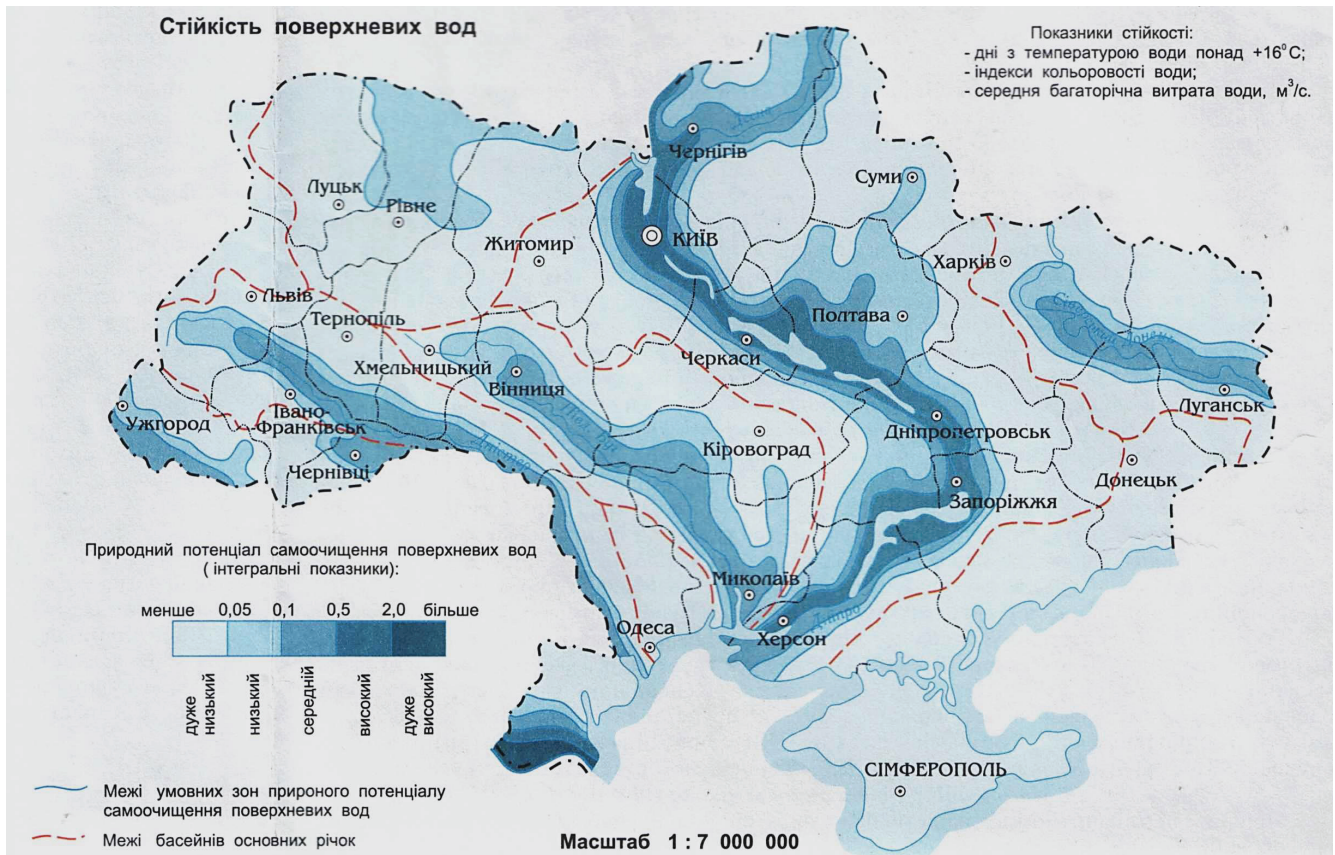
Потенціал стійкості (П) або самовідновлення водних об'єктів вираховують шляхом множення показника біотичного потенціалу на коефіцієнт витрати води і, таким чином, отримують показники для картографування стійкості поверхневих вод до забруднення.

$$P = B \cdot Q$$

Де: П - показник потенціалу самоочищення поверхневої водойми; Б - біотична складова потенціалу самоочищення водойми; Q - гідрологічна складова потенціалу самоочищення водойми, яка передбачає облік витрати води рікою або показника інтенсивності водообміну в озері.

Методом лінійної інтерполяції (у межах басейнів основних річок) між водомірними постами проводять ізолінії рівних значень потенціалу стійкості поверхневих вод. Вододільні

лінії основних басейнів річок приймають за нульове значення. Таким чином, науковцями України було розроблено карту, яка характеризує зонування території за стійкістю поверхневих вод до забруднення (див. рис.). Аналіз даної карти показав, що малі річки України характеризуються мінімальним і дуже низьким, а великі - середнім, високим і дуже високим потенціалом самовідновлення. Таким чином, найбільш чутливими до антропогенного впливу є малі річки України і саме тому на їх охорону і відтворення необхідно насамперед спрямовувати основні зусилля (за Барановський, Шищенко, 2002).



Природний потенціал самоочищення поверхневих вод України від природного та антропогенного забруднення (за Барановський, Шищенко, 2002).

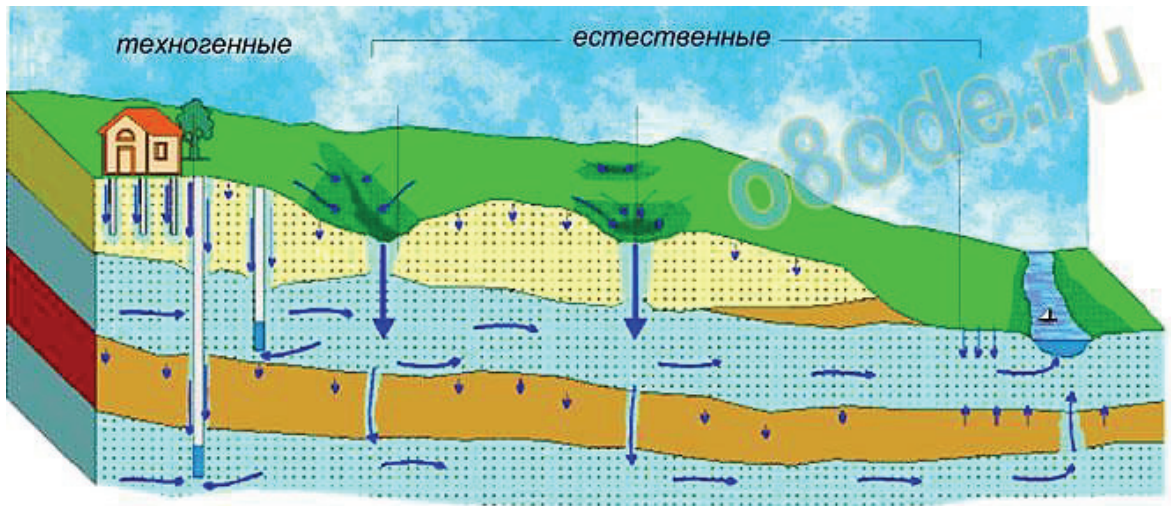
## **Частина 2. Потенціал самоочищення підземних вод. Встановлення охоронних зон водозабору підземних вод.**

### **1. Потенціал самоочищення підземних вод.**

Потенціал самоочищення підземних вод визначається:

а) швидкістю руху підземних вод (чим повільніше рухається вода - тим більше часу залишається для розкладання токсинів і загибелі патогенних організмів); швидкість руху підземних вод визначається ухилом водотривкого горизонту, розмірами частинок гірської породи і т.н.;

б) сорбційною ємністю частинок гірської породи (чим вище сорбційна ємність частинок гірської породи - тим краще відбувається очищення підземних вод); чим дрібніше частинки - тим більше їх сумарна поверхня, здатна сорбувати забруднюючі речовини; крім того, частинки одного і того ж розміру можуть мати різну пористість і, як наслідок, різну здатність утримувати на своїй поверхні забруднюючі речовини;



### *Виды быстрых путей миграции*

Міграція забруднюючих речовин в складі підземних вод (за <https://yandex.fr/images/>).

в) хімічним складом порід, що формують водоносний і водотривкий горизонти:

- під час міграції підземних вод забруднюючі речовини можуть осісти на геохімічних бар'єрах (тобто, перейти в менш розчинну форму внаслідок взаємодії з мінералами водоносної породи);

- забруднюючі речовини можуть стати більш небезпечними через взаємодію з хімічними компонентами гірських порід водоносного горизонту;

г) мікробіологічними особливостями даної території (біологічні бар'єри): ферменти ґрунтових бактерій, грибів, кореневі виділення рослин і т.п. можуть:

- перевести хімічно небезпечні речовини в водорозчинну форму, що сприяє забрудненню підземних вод (наприклад, якщо породи містять в складі своїх мінералів миш'як - то він, в результаті життєдіяльності бактерій, може переходити в водорозчинну форму і потрапляти таким чином в питну воду; в Бангладеш, Камбоджі, Бутані, Індії, М'янмі, В'єтнамі дуже гостро стоїть проблема забруднення питної води миш'яком саме через життєдіяльність ґрунтової мікробіоти, яка переводить миш'як з водо-нерозчинного стану в водорозчинні форми);

- переводити хімічні речовини з небезпечної водорозчинної форми в безпечну нерозчинну форму (наприклад, в зоні уранових рудників живуть бактерії, які перетворюють водорозчинну форму радіоактивного урану-238 в малорозчинний осад, захищаючи тим самим підземні води від небезпечних радіоактивних речовин);

д) температурою підземних вод:

- чим вище температура навколишнього середовища - тим вище розчинність багатьох речовин; а це становить потенційну небезпеку переходу нерозчинних забруднюючих речовин в розчинні форми;

- чим вище температура навколишнього середовища - тим швидше відбувається руйнування органічних забруднюючих речовин;

е) доступом кисню: в ґрунтах умови є анаеробними; доступ кисню при розкритті порід призводить до окислення речовин і переводить малорухливі забруднюючі речовини - в рухливі (і - навпаки). У зв'язку з цим - особливу проблему становить забруднення ґрунтових вод нітратами. Нітрати не сорбуються частинками ґрунтів і гірських порід і не осідають на більшості геохімічних бар'єрів (їх можуть утримати тільки відновлювальні бар'єри). Таким чином - нітрати неможливо утримати на фізико-хімічних і хімічних бар'єрах, що призводить до їх потрапляння в питну воду і викликає смертельно-небезпечні отруєння людей. Крім того, нітрат-іони дуже активно накопичуються рослинами в своїх вакуолях, оскільки рослини, як правило, відчувають азотне голодування. Вживання в їжу таких рослин також призводить до отруєння людей нітратами. При попаданні в організм людини - нітрат-іони

перетворюються в нітрит-іони, які забирають електрони у іонів заліза, що входять до складу гемоглобіну. Така окислена форма заліза в складі гемоглобіну - не здатна віддавати кисень клітинам і тканинам. Це призводить до кисневого голодування і загибелі організму. Людину можна врятувати, лише шляхом введення в кров метиленового синього, який відновлює залізо.

Джерелом нітратів в ґрунтових водах є: а) азотні добрива; б) розкладання органічних речовин з доступом кисню (залишки рослин, тварин, відходи життєдіяльності людини, органічні відходи побутові та промислові; в) нітрит натрію, який використовується в м'ясних продуктах як консервант. На сьогоднішній день основною причиною забруднення підземних вод і сільськогосподарських рослин нітрат-іонами є відкриті звалища, на яких органічні залишки розкладаються з доступом кисню.

\*NB! В анаеробних умовах бактерії здатні переводити нітрат-іони в іони амонію, які засвоюються рослинами і потім використовуються ними в процесі життєдіяльності. При цьому іони амонію не становлять небезпеки для людини.

## 2. Охоронні зони водозабору підземних вод.

Охоронні зони водозабору підземних вод встановлюються з урахуванням: 1) наявності захищеності підземних вод водоупорною покрівлею; 2) можливості самоочищення поземних вод.



Схема розташування трьох охоронних зон водозабору підземних вод (за <https://yandex.fr/images/>).

Кордон 1-ї охоронної зони водозабору (зона суворого санітарного режиму) - встановлюється:

- а) на відстані не менше 30 м від водозабору при використанні міжпластових вод, що мають в межах всіх поясів санітарної зони суцільну водотривку покрівлю;
- б) на відстані не менше 50 м від водозабору при використанні ґрунтових вод або міжпластових вод при наявності гідрологічних вікон в водотривкій покрівлі.

В межах 1-ї охоронної зони водозабору забороняється: проживання людей, проведення будівельних робіт, утримання худоби, використання добрив і хімікатів на посівах. Ця зона охороняється. У середині зони часто створюється штучне покриття (гравійно-галькове, асфальтове і т.н.).

Кордон 2-ї охоронної зони водозабору - розраховується за терміном виживання хвороботворних бактерій в підземних водах. \*NB! Термін виживання бактерій приймається від 100 до 400 діб в залежності від кліматичної зони і масивності мікробного забруднення. На території 2-ї охоронної хони водозабору забороняються всі види будівельних робіт, які



ведуть до руйнування порід і пластів, що перекривають зверху водоносний горизонт, що експлуатується. Забороняється забруднення території каналізаційними нечистотами, розміщення звалищ, складів пально-мастильних матеріалів, шламосховищ відходів, кладовищ, скотомогильників, застосування добрив і отрутохімікатів.

Кордон 3-й охоронної зони водозабору - визначається швидкістю міграції хімічних забруднюючих речовин і обчислюється на підставі передбачуваного терміну експлуатації водозабору (але не менше 25 років). На цій території не можна розміщувати склади пально-мастильних матеріалів, отрутохімікатів, мінеральних добрив, шламосховища і інші об'єкти, які можуть стати джерелами хімічного забруднення підземних вод.

Основний принцип розрахунку розмірів поясів 2-й - 3-й охоронних зон водозабору. Кордон кожного пояса - це ізохрони, тобто сукупність точок, з яких забруднююча речовина досягає місця водозабору через заданий розрахунковий термін.

#### **Контрольні питання:**

1. Шляхи самоочищення екосистем від забруднюючих речовин.
2. Механічне самоочищення природних вод.
3. Утримання забруднюючих речовин на геохімічних бар'єрах. Фізичні, хімічні та біологічні бар'єри в екосистемах.
4. Деструкція забруднюючих речовин. Фізико-хімічна та біологічна деструкція.
5. Природні та антропогенні фактори, які впливають на швидкість самоочищення природних вод.
6. Природний потенціал самоочищення поверхневих водойм.
7. Потенціал самоочищення підземних вод.
8. Встановлення охоронних зон водозабору підземних вод.

#### **Література:**

1. Барановський В.А., Шищенко П.Г. Стійкість природного середовища. – К.: 2002. – 35 с.
2. Голубовская Э.К.. Биологические основы очистки воды. Учебное пособие. - М.: Высшая школа. - 268 с., 1978. учебника
3. <http://mediclab.com.ua/index.php?newsid=13056>
4. Е.И. Гончарук. Коммунальная гигиена, 2006.
5. Калинин А.И., Семкович М.Я., Яковлев А.В. Процессы природного самоочищения воды и их моделирование. <http://shungit.in.ua/index.php/isl/38-ochish.html>
6. Остроумов С.А. Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на гидробиологические механизмы самоочищения водной среды // Водные ресурсы 2004, т. 31. № 5. С. 546 – 555.

**1. Небезпека накопичення забруднюючих речовин в донних відкладеннях.**

У донних відкладеннях водних об'єктів накопичуються забруднюючі речовини в значних концентраціях. Оскільки донні відкладення є місцем існування бентосних організмів, то накопичення забруднюючих речовин в донних мулах впливає на всі біологічні ланки водних екосистем. Крім того, донні відкладення служать джерелом вторинного забруднення водойм: навіть припинення скидання забруднюючих речовин, як правило, не приводить до поліпшення санітарного стану водойм внаслідок повернення забруднюючих речовин з донних відкладень назад в воду. Донні мули є цінним добривом, проте, їх забруднення може стати джерелом небезпеки для агроекосистем в цілому і людини, зокрема.

Крім перерахованих вище факторів - джерелом небезпеки для організмів, що мешкають в забруднених водних екосистемах, є бактерії, які перетворюють неорганічні сполуки металів в їх органо-металеві похідні. Наприклад, ртуть перетворюється в метил-ртуть і т.н. Відомо, що органо-металеві похідні за структурою схожі на власні регуляторні молекули організмів (на ферменти, гормони, вітаміни і т.н.). Тому, організми не виводять їх за межі своїх клітин, що призводить до гіпернакопичення органо-металевих похідних і до отруєння організмів. Наприклад, в США більше 35% поверхневих водойм заборонені до риболовлі через накопичення в рибі метил-ртуті. В Японії в затоці Мінамата скидання стічних вод підприємства з виробництва батарейок призвело до накопичення у воді сполук ртуті, які в результаті життєдіяльності бактерій перетворилися в метил-ртуть. Дана сполука накопичилася в рибі, що призвело до отруєння місцевого населення, яке харчується переважно рибою (хвороба Мінамата).

**2. Причини накопичення забруднюючих речовин в донних мулах.**

Донні відкладення внаслідок малих розмірів їх часток - мають величезну сорбційну ємність поглинання: і для металів, і для органічних забруднюючих речовин. Тому, донні відкладення інтенсивно поглинають забруднюючі речовини (важкі метали, радіонукліди, пестициди і т.н.). Високу сорбційну здатність мають як мінеральні глинисті частинки донних мулів, так і органічна речовина, яка активно акумулює на своїх частках забруднюючі речовини (як і ґрунти). Кількість органічної речовини в донних відкладеннях обчислюється як різниця мас повітряно-сухих донних відкладень до і після прожарювання при температурі +700 °С.

Концентраційна рівновага між водою і донними відкладеннями встановлюється з коефіцієнтом  $10^2 - 10^3$ .

$$\text{Своди} = \text{Смулу} \cdot 10^3$$

Де: Своди – концентрація забруднюючої речовини у воді; Смулу – концентрація забруднюючої речовини у мулі донних відкладень.

При цьому експериментальні дослідження показали, що коефіцієнт прямого переходу іонів металів з води в донні відкладення – є дуже низьким. Забруднюючі речовини на початку накопичуються водними організмами і тільки потім, після їх загибелі, переходять у фракцію донних мулів, де і утримуються силами сорбційної взаємодії.

**3. Швидкість поглинання забруднюючих речовин з води донними мулами.**

Швидкість поглинання забруднюючих речовин з води донними мулами обчислюється за такою формулою:

$$\text{Смул} = k \cdot \rho \cdot \tau \cdot \text{Свода}$$

Де: Смул - концентрація забруднюючих речовин в донних відкладеннях; Свода - концентрація забруднюючих речовин у воді; k - коефіцієнт сорбції, тобто коефіцієнт, що відображає швидкість переходу забруднюючих речовин з води в донні відкладення;  $\rho$  -

поверхнева щільність донних відкладень (для важких металів становить  $40 \text{ кг/м}^2$ ;  $\tau$  - тривалість забруднення водойми (величина  $\tau$ , як правило, менше 1; але при дуже тривалому забрудненні - цей коефіцієнт наближається до 1).

Серед металів, які найбільш швидко сорбуються, - марганець. Його  $k = 5 \cdot 10^{-5} \text{ л/кг}\cdot\text{сек}$ . При концентрації марганцю у воді  $C_{\text{води}} = 3 \text{ мг/л}$  і при тривалості забруднення водойми 50 років  $\tau = 0,64 \text{ сек}$ , концентрація марганцю в донних відкладеннях складе:

$$C_{\text{мул}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ л/кг}\cdot\text{сек} \cdot 40 \text{ кг/м}^2 \cdot 0,64 \text{ сек} \cdot 3 \text{ мг/л} = 0,004 \text{ мг/л}$$

Таким чином, проведені розрахунки і лабораторні дослідження показали, що при концентрації іонів марганцю у воді  $C_{\text{води}} = 3 \text{ мг/л}$  за період забруднення водойми рівний 50 років до фракції донних відкладень може перейти приблизно  $C_{\text{мул}} = 0,004 \text{ мг/л}$ . Тоді як реальний аналіз донних мулів в конкретній водоймі виявив концентрацію іонів марганцю в донних мулах  $C_{\text{мул}} = 470 \text{ мг/л}$ . У чому причина розбіжності в отриманих даних?

Проведені дослідження показали, що швидкість поглинання іонів забруднюючих речовин з води донними відкладеннями є дуже низькою. В основному забруднюючі речовини переносяться з води в донні мули з залишками водних організмів, які є дуже потужними поглиначами забруднюючих речовин (коефіцієнт біологічного поглинання забруднюючих речовин є значно вищим, ніж коефіцієнт сорбції). Крім того, у водоростей дуже велика поверхня поглинання, а за один сезон відмирає багато водоростей. При цьому забруднюючі речовини переходять з відмерлих водоростей до складу донних мулів.

#### **4. Ступінь техногенного навантаження на водний об'єкт.**

Кількісно ступінь техногенного навантаження на водний об'єкт оцінюється за т.зв. показником накопичення (ПН):

$$\text{ПН} = \frac{(C_i - C_f)}{C_f} \cdot 100\%$$

Де: ПН - показник накопичення забруднюючих речовин;  $C_i$  - концентрація мікроелемента в донних відкладеннях;  $C_f$  - фонові значення вмісту даного мікроелемента в донних відкладеннях водних об'єктів, які не експлуатуються в промислових цілях.

У Німеччині ступінь техногенного забруднення річки оцінюється за ступенем насиченості важкими металами глинистої фракції донних відкладень (частки дрібніше  $2 \text{ мкм}$ ). Потім для визначення ступеня забруднення користуються ігло-класами або «індексами геоаккумуляції» (Коломийцев и др., 1997).

#### **5. Десорбція важких металів і радіонуклідів з фракції донних відкладень.**

Різні важкі метали здатні переходити назад з фракції донних мулів у воду. Причини десорбції важких металів з донних відкладень до води: а) дефіцит кисню у воді; б) зниження показника кислотності води, рН; в) підвищення вмісту у воді розчинених органічних речовин, зокрема - гумінових і фульвокислот, змитих з поверхні суші.

Наприклад, при зниженні значень рН води у водоймі (тобто при закисленні середовища) - починається вихід адсорбованих іонів з донних мулів назад в воду. Такий зворотний перехід іонів до водорозчинної фракції може досягати 50% і вище. Тому, для депонування і утримання важких металів і радіонуклідів в донних відкладеннях - рН води повинна бути не нижче ніж 7-9 одиниць.

Активна сорбція радіонуклідів водною рослинністю спочатку призводить до виведення їх з води, а після відмирання рослинності - до поповнення радіонуклідами донних мулів (тобто, первинною подією є не сорбція іонів з води в донні відкладення, а накопичення радіонуклідів водними організмами і лише після їх відмирання - радіонукліди переходять в донну фракцію). Оскільки життєвий цикл водних організмів - досить короткий, то дана група організмів відіграє значну роль в транспортуванні забруднюючих речовин з води в донні відкладення.

Десорбція іонів металів з придонних мулів в воду - є суттєвим джерелом повторного забруднення поверхневих вод. Так, при десорбції хрому  $\text{Cr}^{+3}$  з донних відкладень - його

концентрація у воді може перевищувати фонові для даного регіону концентрації в 10-20 разів.

Наприклад, в Керченській протоці (Чорне море) з 1991 р по 1994 р незважаючи на зниження обсягів скидання ґрунтів після днопоглиблювальних робіт - рівень забруднення водних мас ртуттю і свинцем істотно виріс. Одночасно було зареєстровано зниження вмісту зазначених елементів в донних відкладеннях, що свідчить про вторинне забруднення води від донних відкладень. З метою зниження негативного впливу демпінгу (скидання) ґрунтів днопоглиблювальних робіт на стан екосистем Керченської протоки - район звалища ґрунту було винесено з 1987 р в предпротокову зону Чорного моря на глибину 50 м в точку з координатами 44<sup>0</sup>51 п.ш. і 36<sup>0</sup>40 с.д.



Проведення днопоглиблювальних робіт з використанням земснарядів часто супроводжується подальшим скиданням донних мулів до сусідніх акваторій. Існує кілька способів відведення видобутого ґрунту від земснарядів: 1) відведення пульпи по трубах ґрунтопроводу; 2) викид струменя пульпи; 3) навантаження видобутого ґрунту на баржу і вивезення за межі акваторії донно-поглиблювальних робіт (за [http://astrakhan-24.ru/news/society/vzbalamutili\\_volgu\\_20448](http://astrakhan-24.ru/news/society/vzbalamutili_volgu_20448)).

#### **6. Динаміка радіонуклідів у водних екосистемах після Чорнобильської аварії.**

Після Чорнобильської аварії потрапляння радіоактивного цезію-137 і стронцію-90 в водойми призвело до накопичення цих радіонуклідів у верхньому шарі донних відкладень. На сьогоднішній день більша частина радіоактивного цезію-137 залишається зв'язаною в шарі донних відкладень, які сформувалися в 1986 році після аварії на Чорнобильській АЕС. Ці відкладення дуже незначним чином обмінюються з придонною водою і майже не переходять до складу сучасної водної рослинності.

Слід відзначити, що у донних мулах цезію-137 в 4-5 разів більше, ніж стронцію-90. Проте, коефіцієнт накопичення у водних рослинах для цезію є значно нижчим, ніж для стронцію (через те, що цезій-137 знаходиться в імобілізованій формі, тоді як стронцій-90 - в обмінній формі, яка є легко доступною для рослин) і становить  $K_n$  цезію = 0,05,  $K_n$  стронцію = 0,21.

$$K \text{ накопичення} = \frac{\text{Вміст радіоізоотопу в рослині}}{\text{Вміст радіоізоотопу в мулі}}$$

Причиною низької концентрації стронцію у донних відкладеннях є зворотній перехід цих радіонуклідів з придонних мулів назад у воду. Так, через 19 років після Чорнобильської катастрофи вміст радіонуклідів у воді склав: цезію-137 = 0,016 Бк/л; стронцію-90 = 0,045 Бк/л. При цьому слід пам'ятати, що активність стронцію-90 перевищує показник активності цезію-137 в 2,8 рази.

Радіонукліди також накопичують і тварини, які мешкають у водоймах. Так, короп (*Cyprinus carpio*) накопичує більше стронцію, ніж цезію, а товстолобик білий (*Hypophthalmichthys molitrix*) - акумулює обидва радіонукліди однаково.

Досліди по виведенню радіонуклідів зі ставка - охолоджувача АЕС показали, що водорості *Cladophora fracta* і *Potamogeton natans* - накопичують багато радіонуклідів <sup>3</sup>H, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr. Після їх вилучення з водойми - вода очищується, а водорості, які накопичили радіонукліди, підлягають похованню на спеціальних полігонах.



Ставок-охолоджувач Чорнобильської атомної станції - одна з найбільш сильно забруднених радіонуклідами водойм після аварії на АЕС (за <http://chornobyl.in.ua/img/river/cooling-pond-chnpp.jpg>).

### **7. Обчислення запасів донних відкладень.**

Обчислення запасів донних відкладень (М) проводять за наступною формулою:

$$M = \frac{H \cdot S}{\rho}$$

Де: М - запаси донних відкладень, кг · м<sup>2</sup>; Н – товщина шару донних відкладень, м; S - площа пробовідборника, м<sup>2</sup>; ρ - щільність донних відкладень, кг/м<sup>3</sup>.

### **8. Використання донних відкладень в господарській діяльності людини.**

Перед використанням донних відкладень - проводять хімічний контроль рівня їх забрудненості. Рівень забруднення донних відкладень металами встановлюють за допомогою атомно-абсорбційного аналізу зразків; а рівень забруднення органічними речовинами - за допомогою хроматографії + мас-спектрометрії зразків донних відкладень. Нормативи забруднення донних відкладень залежать від складу донних відкладень (від процентного вмісту в них глинистих частинок і органічної речовини).

Після проведення хімічного аналізу донних відкладень - всі отримані концентрації забруднюючих речовин перераховують на рівень стандартних відкладень, що містять 10% органічної речовини і 25% глинистої фракції (частки, діаметром менше 2 мкм). Спеціальна таблиця дозволяє встановити рівень і клас небезпеки забруднення донних відкладень даною речовиною виходячи з концентрації цієї речовини в донних відкладеннях.

Для кожної забруднюючої речовини встановлено концентрації, які відповідають одному з чотирьох рівнів забруднення донних відкладень. Наприклад, для іонів кадмію:

Забруднююча речовина:	Рівень цільовий:	Граничний рівень:	Перевірочний рівень:	Рівень, який потребує втручання:	
Кадмій	0,8 мг/кг	2 мг/кг	7,5 мг/кг	12 мг/кг	
	↔	↔	↔	↔	↔
	I нижче: 0-й клас	I-й клас	II-й клас	III-й клас	i вище IV-й клас

Шляхи подальшого використання донних відкладень визначаються результатами їх хімічного аналізу: чисті донні відкладення 0-го класу забруднення - використовуються для наміву територій під житлове будівництво і для відвалу в водні об'єкти; слабо забруднені донні відкладення 1-го класу – для наміву територій під житлове та промислове будівництво; помірно-забруднені донні відкладення 2-го класу - для наміву під будівництво промислових об'єктів; сильно і небезпечно забруднені донні відкладення 3-го і 4-го класів - підлягають захороненню в спеціально обладнаних відвалах або проходять детоксикацію і після цього використовуються для наміву територій.

**Класифікація видобутих донних відкладень**

Клас IV. Небезпечно забруднені відкладення  
Рівень втручання \_\_\_\_\_

Клас III. Сильно забруднені відкладення  
Перевірочний рівень \_\_\_\_\_

Клас II. Помірно забруднені відкладення  
Граничний рівень \_\_\_\_\_

Клас I. Слабкозабруднені відкладення  
Цільовий рівень \_\_\_\_\_

Клас 0. Чисті відкладення

У відповідності з таблицею 1 для визначення чотирьох нормативних рівней концентрації забруднюючих речовин, вказані рівні забруднення донних відкладень розшифровуються наступним чином:

**Цільовий рівень.** Якщо концентрації забруднюючих речовин нище цільового рівня, донні відкладення вважаються чистими. Такі відкладення відносяться до класу 0.

**Граничний рівень.** Концентрації забруднюючих речовин до цього рівня представляють максимально прийнятний ризик як для здоров'я людей, так і для природи. Донні відкладення, концентрації забруднюючих речовин в яких знаходяться між цільовим та граничним рівнями, належать до класу I. Ці відкладення вважаються слабкозабрудненими.

**Перевірочний рівень.** За певних умов забруднюючі речовини в донних відкладеннях, концентрації яких нище цього рівня, можуть чинити негативний вплив на чисте водне середовище. Донні відкладення з концентрацією забруднюючих речовин між граничним та перевіроочним рівнями належать до класу II. Вони вважаються помірно забрудненими.

**Рівень, який потребує втручання.** Якщо концентрація забруднюючих речовин перевищує перевіроочний рівень класу II, це вважається показником сильного забруднення донних відкладень. Донні відкладення з концентрацією забруднюючих речовин між перевіроочним рівнем та рівнем, який потребує втручання, належать до класу III. Забрудненість цих відкладень вважається від промірної до сильної. Донні відкладення, концентрація забруднюючих речовин в яких перевищує рівень, що потребує втручання, вважаються небезпечно забрудненими. Вони належать до класу IV.

**Можливості використання донних відкладень:**

- Донні відкладення класу 0 вважаються чистими. Вони без обмежень можуть використовуватись для наміву територій, відвалу у водні об'єкти та для любых інших цілей.
- Донні відкладення класу I можуть використовуватись для наміву територій. В особливих випадках, якщо забруднення донних відкладень не перевищує допустимого рівня, дозволяється їх скидання до водних об'єктів за умови, що не погіршиться якість води. Дозвіл на скидання до водних об'єктів видається в установленому порядку Держспецінспекцією по охороні моря та суміжних водних шляхів.
- Донні відкладення класу II можуть використовуватись для наміву територій під будівництво промислово-комунальних зон, з врахуванням даних обстеження за усім комплексом показників.
- Донні відкладення класу III та IV необхідно зберігати лише в спеціально обладнаному відвалі або вони подлягають переробці з виконанням комплексу захисних заходів проти вимивання забруднюючих речовин в навколишнє середовище. При витяганні та складуванні донних відкладень класів III та IV повинна проводитись оцінка впливу на навколишнє середовище, а також довгостроковий моніторинг водних об'єктів, які підлягають очищенню, та відвалів забруднених донних відкладень. Конструювання спеціально обладнаного відвалу донних відкладень III та IV класів, технологія та маршрути транспортування, а також програма довготривалого моніторинга повинні розробляти в межах робочого проекту та

узгоджуватись в установленому порядку в управлінні державної екологічної експертизи. При виконанні доннозаглиблювальних робіт та скиданні ґрунту з метою захоронення у водні об'єкти в обов'язковому порядку повинен виконуватись еколого-технологічний контроль за узгодженою з Держспецінспекцією програмою.

До слабо та помірно забруднених донних відкладень (класи I та II) при використанні їх для формування територій (після зневоднення та консолідації) застосовуються норми для оцінки забрудненості ґрунтів.

## НОРМИ ЯКОСТІ ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ ДЛЯ РІЗНИХ РІВНЕЙ ЗАБРУДНЕННЯ

Таблиця 2.

### Критерії забруднення стандартних донних відкладень за концентраціями забруднюючих речовин в мг/кг сухої ваги\*

\*Стандартні відкладення мають наступний склад: 10% вмісту органічної речовини та 25% вмісту глинистої фракції (частинки діаметром < 2 мкм).

Забруднююча речовина	Цільовий рівень	Граничний рівень	Перевірочний рівень	Рівень, що потребує втручання
Важкі метали				
Кадмій (Cd)	0,8	2	7,5	12
Ртуть (Hg)	0,3	0,5	1,6	10
Мідь (Cu)	35	35	90	190
Нікель (Ni)	35	35	45	210
Свинець (Pb)	85	530	530	530
Цинк (Zn)	140	480	720	720
Хром (Cr)	100	380	380	380
Миш'як (As)	29	55	55	55
Органічні галогени (ОГ)				
	0,1		7	
Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ): Нафтаден, бензо(а)антрацен, бензо(а)перилен, бензо(а)пірен, фенантрен, індено(1.2.3-ц)пірен, антрацен, бензо(к)флюорантен, хризен, флюорантен				
Сума 10 ПАВ	1	1	10	40
Речовини, що містять хлор				
Трихлоретен	0,001			60
Гексахлоретан	0,01			
Дихлорбензол	0,01			
Трихлорбензол	0,01	0,3		
Тетрахлорбензол	0,01	0,3		
Пентахлорбензол	0,0025	0,3	0,3	

Гексахлорбензол	0,0025	0,004	0,02	
Бензоли, що містять хлор				30
Поліхлорбіфеніли				
ПХБ-28	0,001	0,004	0,03	
ПХБ-52	0,001	0,004	0,03	
ПХБ-101	0,004	0,004	0,03	
ПХБ-118	0,004	0,004	0,03	
ПХБ-138	0,004	0,004	0,03	
ПХБ-153	0,004	0,004	0,03	
ПХБ-180	0,004	0,004	0,03	
Сума 6 ПХБ	0,02			
Сума 7 ПХБ			0,2	1
Нафтопродукти	180	1000	3000	5000
Органічні хлор пестициди				
Алдрин	0,0025			
Диелдрин	0,0005	0,02		
Алдрин+Диелдрин		0,04	0,04	
Ендрин	0,001	0,04	0,04	
Дрини				4
ДДТ (вкл. ДДД та ДДЕ)	0,0025	0,01	0,02	4
альфа-Ендосульфан	0,0025			
альфа-Ендосульфан+сульфат		0,01	0,02	
альфа-ГХЦГ	0,0025		0,02	
бета-ГХЦГ	0,001		0,02	
гамма-ГХЦГ (линдан)	0,00005	0,001	0,02	
ГХЦГ-сполуки				2
Гептахлор	0,0025			
Гептахлорепоксид	0,0025			
Гептахлор+епоксид		0,02	0,02	
Хлордан	0,01	0,02		
Гексахлорбутадіен (ГХБ)	0,0025	0,02	0,02	
Сума пестицидів + ГХБ			0,1	
Хлорфеноли				
Монохлорфенол	0,0025	0,07		
Дихлорфенол	0,003	0,003		
Трихлорфенол	0,001	0,1		
Тетрахлорфенол	0,001	0,09		



Пентахлорфенол	0,002	0,02	5	5
Сума хлорфенолів				10

Таблиця 3.

### Критерії забруднення нестандартних донних відкладень\*

\*До нестандартних відносяться донні відкладення з вмістом глинистої фракції (< 2 мкм) більше 25% та вмістом органічних речовин до 30%.

Найменування речовини:	Цільовий рівень (не забруднений), мг/кг сухої ваги	Рівень втручання (небезпечно забруднені відкладення), мг/кг сухої ваги
Кадмій (Cd)	1,2	18,4
Хром (Cr)	100	380
Мідь (Cu)	46,6	253
Свинець (Pb)	105	655
Ртуть (Hg)	0,3	11,1
Нікель (Ni)	35	210
Цинк (Zn)	170	874
Миш`як (As)	37	70,2
Нафтовуглеводні (НВВ)	150	15000

Для перерахунку концентрацій забруднюючих речовин в нестандартних донних відкладеннях на концентрації їх в стандартних донних відкладеннях використовуються методи перерахунку, наведені в п. 5.2.1 (важкі метали та миш`як) і в п. 5.2.2 (нафтові вуглеводні - НВВ). При вмісті органічних речовин в донних відкладеннях більше ніж 30% - приймається 30.

5.2.1. Для перерахунку вмісту важких металів та миш`яку необхідно використовувати наступну формулу:

$$N1 = N \times \frac{(a + b \times 25 + c \times 10)}{(a + b \times \text{глинисті частинки} + c \times \text{органіч. речовина})}$$

де: N1 - виправлена концентрація; N - виміряна концентрація; (a + b x 25 + c x 10) – поправочний коефіцієнт для приведення концентрації до стандартних донних відкладень; a, b та c - константи, які залежать від типу металів.

Таблиця 4.

### Константи для виправлення виміряного вмісту для важких металів та миш`яку

Метал	a	b	c
Цинк (Zn)	50	3	1,5

Мідь (Cu)	15	0,6	0,6
Хром (Cr)	50	2	0
Свинець (Pb)	50	1	1
Кадмій (Cd)	0,4	0,007	0,021
Нікель (Ni)	10	1	0
Ртуть (Hg)	0,2	0,0034	0,0017
Миш'як (As)	15	0,4	0,4

### 5.2.2. Метод перерахунку для органічних речовин:

$$N1 = N \times \frac{10}{\% \text{ органічна речовина}},$$

де: N1 - виправлена концентрація; N - виміряна концентрація; 10 - коефіцієнт виправлення для стандартних донних відкладень; % органіч. речовина - якщо % органічної речовини менше ніж 2% - то використовується поправочний коефіцієнт 2; а якщо % органічної речовини більше ніж 30% - то використовується поправочний коефіцієнт 30.

\*Примітки:

- (1) Концентрація кожної забруднюючої речовини класифікується після перерахунку у відповідності з вказаними методами на концентрацію в стандартних донних відкладеннях. Клас відкладень визначається за забруднюючою речовиною, яка попадає в найвищий клас забруднення.
- (2) Якщо концентрація не більше ніж двох забруднюючих речовин перевищує рівень на 50% (не більше), то таке перевищення можливо не враховувати. Це положення не поширюється на ПАР.

## **7. Вплив дампінгу ґрунтів на стан морських екосистем (цитовано за Горун, 2015).**

Дослідження Ф.А. Гейдарова і С.Ю. Кузнецова на математичній моделі показали, що вплив ґрунту, що скидається у воду, на гідрохімічний стан морських вод є короткочасним. Проте, результати досліджень реальних водойм дозволили виявити довготривалий хімічний вплив ґрунтів, що скидаються у водойму, на хімічний склад води. Найбільш істотним виявилось підвищення вмісту фосфатів (в тому числі і в вегетаційний період, коли вони практично відсутні в воді) в придонному шарі всього полігону. Максимальні значення концентрації спостерігалися в центральній частині відвалу і становили 30-53 мкг/дм<sup>3</sup>. У придонному горизонті максимальна концентрація нафтових вуглеводнів в районі відвалу в окремі періоди була в 2 рази вище їх середнього максимального вмісту за межами дільниці скидів. Щодо важких металів - ефекти довготривалого впливу на водне середовище були зафіксовані тільки по міді і свинцю. Так, наприклад, вміст у воді свинцю в придонному горизонті в центрі відвалу в 4-5 разів перевищував фонові значення, крім того, в межах всього полігону його придонні концентрації майже в два рази перевищували вміст в поверхневому шарі. Зростання концентрацій забруднюючих речовин у воді після скидання призводить до зменшення вмісту розчиненого кисню і в деякій мірі значень рН, збільшення показників біохімічного споживання кисню (БПК), розвитку дефіциту кисню, інколи - до його повного виснаження.

Згадані зміни умов середовища відображаються на стані планктонних і донних біоценозів, які відчувають зазвичай негативний вплив. Вплив скидів на нейстонних гідробіонтів незначний і спостерігається в момент скидання як механічна дія. У разі утворення поверхневої плівки при скиданні матеріалів, забруднених нафтою, поверхнево-

активними і іншими речовинами, знижується газообмін на межі повітря-вода. Це призводить до загибелі личинок безхребетних тварин, ікри, личинок і мальків риб, а також викликає збільшення чисельності нафтоокилюючих мікроорганізмів. Вплив дам্পінгу на планктон пов'язаний в основному з надходженням до води великої кількості зважених речовин, біогенних і органічних речовин. Вплив на фітопланктон характеризується зниженням загального числа видів (в 2-5 разів). У районах днопоглиблення, а також на мілководних відвалах (при різкому і тривалому зниженні прозорості води) чисельність і біомаса істотно знижуються - у 2-7 разів (на відміну від глибоководних ділянок дам্পінгу ґрунту, де часто спостерігається «ефект добрива»).

При тривалому проведенні днопоглиблювальних робіт може порушуватися сезонна динаміка біомаси. Чисельність фітопланктону може залишатися високою за рахунок переважання нових домінуючих видів. В цілому в районі днопоглиблення, а також на мілководних відвалах ґрунту відбувається зниження функціональної активності фітопланктону, а в глибоководних районах відвалу ґрунту - стимуляція спільноти надходженням в воду біогенних речовин з ґрунтом, що скидається. У зоні підвищеної каламутності, незалежно від характеру робіт, завжди відбувається скорочення числа видів зоопланктону всіх таксономічних груп (до 45-60% від вихідного). Основні втрати припадають на частку седиментаторів і фільтраторів, максимально - на безпанцирних коловерток (роди *Synchaeta*, *Polyarthra*, *Conochilus*) і дещо менше - дрібних кладоцер (з родів *Bosmina*, *Chydorus*, *Daphnia*). Найбільш стійкими до впливу підвищеної каламутності води є копеподи. Відповідно, в співтоваристві скорочується частка «мирних» форм і зростає частка «хижаків». У складі планктону короткочасно з'являються придонні форми. Одночасно збільшується середній розмір особини співтовариства. Відбувається порушення сезонного ходу динаміки чисельності та біомаси співтовариства.

В районі днопоглиблення чисельність і біомаса зоопланктону знижуються, в порівнянні з вихідними, в кратності від двох до кількох десятків, а в деяких випадках - і сотень разів. Найбільшою мірою це проявляється в осінній період на тлі природного сезонного зниження кількісних показників спільноти. Вплив скидів на бентосні організми виражений сильніше, оскільки вони тривалий час перебувають в тісному контакті зі скинутими ґрунтами. Згідно робіт, що проводилися на звалищах ґрунту в Чорному морі, при регулярних і часто повторюваних скидах незабрудненого ґрунту іншого гранулометричного складу, ніж донні відкладення оточуючих акваторій, відбувається швидка перебудова донного біоценозу відповідно до характеру нового біотопу і можуть з'являтися домінуючі види. Так, домінування 1-2 видів організмів спостерігалось на звалищах ґрунту в Чорному морі. На звалищі ґрунту Одеського порту в біоценозі переважав молюск *Mya arenaria*, біомаса якого досягала 640 г/м<sup>2</sup> (на три порядки більше, ніж за межами відвалу). На Іллічівському звалищі починали домінувати мідії. Їх біомаса за межами відвалу коливалася від 0,3 до 13 г/м<sup>2</sup>, а на відвалі досягала 2500 г/м<sup>2</sup>.



Молюск *Mya arenaria* переважає в біоценозі на звалищі ґрунту Одеського порту (за <http://www.zoofirma.ru/knigi/gidrobiologija/9484-peschanaja-rakushka-mua-arenaria.html>).



Мідії переважали на звалищі ґрунту Іллічівського порту (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

Вплив скидання ґрунту на донні біоценози може бути і більш значним, що призводить до повного зникнення видів зі складу біоценозу. Так, в Чорному морі кількість видів на відвалі ґрунту Одеського порту зменшилася з 49 до 23, в Іллічівському районі - з 48 до 28 і в Григор'ївському - з 34 до 21. Дія скидів на донні біоценози зачіпає не тільки склад співтовариства в результаті зміни фізичних характеристик вихідного субстрату, але може обумовлювати і токсичні ефекти. Найменш небезпечним є скидання чистих ґрунтів, які збігаються за своїм характером з тими, на які вони зсипаються. В цьому випадку відбувається тільки засипання тварин, що живуть в даному районі. При цьому гинуть як усі прикріплені, так і дрібні малорухливі форми.

При скиданні ґрунтів, що відрізняються за своїми фізичними характеристиками від того, на який їх зсипають, відновлення донної фауни ускладнюється. На новому субстраті вже не можуть оселитися місцеві форми, і реколонізація здійснюється завдяки осіданню пелагічних личинок інших видів тварин, принесених течіями з прилеглих районів, де є подібний тип ґрунту, і в якійсь мірі внаслідок міграції дорослих особин. Це призводить до зміни видового складу донного співтовариства. Зміна видової структури і зміна домінуючих форм донних біоценозів тягнуть за собою скорочення величин чисельності та біомаси. Згубний вплив на донні співтовариства має високий вміст зважених речовин, що виникає при дампінгу. Особливо чутливими до зважених речовин є дрібні організми; навіть при концентрації 44 мг/дм<sup>3</sup> на 10% скорочується швидкість росту молоді двостулкових молюсків. Лабораторні експерименти показали, що при концентрації зважених речовин близько 100 мг/дм<sup>3</sup> скорочується ступінь виживання личинок оселедця.

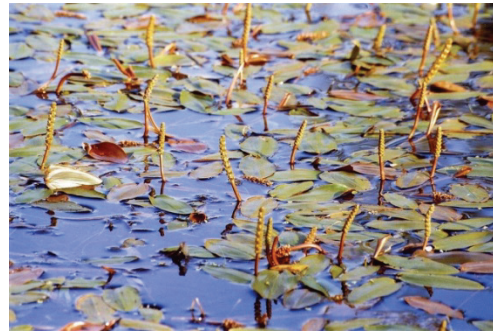
Дампінг ґрунту завдає великої шкоди іхтіофауні, включаючи промислову, здійснюючи на неї як прямий, так і не прямий згубний вплив. Прямий вплив має короткочасний характер і виражається в ушкодженні зябер риб зваженими частинками ґрунту, в збідненні складу і зниженні чисельності іхтіопланктону, погіршенні якості водного середовища в зоні підвищеної каламутності. Останнє полягає в зниженні запасів кормової бази, руйнуванні нерестовищ і скороченні нагульних площ. Великі обсяги скидання і кількості зваженої речовини, що при цьому утворюється, впливають далеко за межами відведеної для цих цілей площ дна. Таким чином, донні співтовариства відчувають тривалий хронічний вплив, який призводить до деградації біоценозу, що виражається в збідненості видового складу, а також часто в зниженні чисельності і біомаси організмів, зміні вікової структури популяцій. Наслідки скидання ґрунту на планктонні організми носять короткочасний характер і пов'язані із зоною короткоперіодного впливу (цитовано за Горун, 2015).

### **8. Очищення донних відкладень від забруднюючих речовин.**

Очищення поверхневих вод від забруднюючих речовин часто не дає бажаного результату через повторний перехід забруднюючих речовин з донних мулів в воду. Тому, крім очищення поверхневих вод - необхідно проводити очистку також і донних відкладень. Методи очищення донних мулів від забруднюючих речовин: а) за допомогою земснаряду відбирають донні мули, які потім або очищають від забруднюючих речовин, або ховають на спеціальних полігонах; б) проводять біоремедіацію донних мулів: або підселюють організми, які забезпечують деструкцію забруднюючих речовин певного типу, або - підселюють організми-гіпернакопичувачі відповідних речовин (після періоду зростання і накопичення токсинів - дані організми ховають на спеціальних полігонах). Наприклад, після Чорнобильської аварії в водоймах накопичилися радіонукліди цезію та стронцію. Підсаджування в такі водойми водоростей-гіпернакопичувачів радіонуклідів - *Cladophora fracta* і *Potamogeton natans* - дозволило в значній мірі очистити водойми від радіоактивного цезію і стронцію.



Водорість кладофора (*Cladophora fracta*) - гіпернакопичувач радіонуклідів (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Водорість рдест плаваючий (*Potamogeton natans*) - гіпернакопичувач радіонуклідів (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Тривало забруднені екосистеми мають сформовані співтовариства мікроорганізмів для деструкції органічних забруднюючих речовин в складі донних відкладень. Так, в донних відкладеннях затоки Орхус-Бугг (недалеко від Данії) дослідниками було знайдено екосистему з бактерій - приповерхневих і глибинних мешканців донних мулів, які спільними зусиллями руйнували органічні речовини донних відкладень: бактерії, які були виявлені в глибині цих відкладень - без доступу кисню окисляли сірководень, що виділювався при руйнуванні органічних речовин, при цьому вивільнені електрони по спеціальних відростках-піллях надходили до бактерій в вищерозташовані шари донних відкладень (т.т. до бактерій, які мали доступ до кисню); при цьому відбувалася реакція:  $4e^- + 4H^+ + O_2 \rightarrow 2H_2O$ .



ing.lenta.ru→novostey.com

Зразок досліджених вченими донних відкладень з затоки Орхус-Бугг (за <http://novostey.com/science/news207116.html>).

#### Контрольні питання:

1. Гідрологічні геохімічні бар'єри.
2. Швидкість переходу забруднюючих речовин з води в донні відкладення. Вплив аквальної біоти на швидкість означеного переходу.
3. Умови зворотнього руху забруднюючих речовин з донних відкладень у воду.
4. Методи очищення донних відкладень від забруднюючих речовин.
5. Санітарно-гігієнічні нормативи оцінки рівня небезпеки донних відкладень.
6. Можливі шляхи використання донних відкладень, забруднених хімічними речовинами.

#### Література:

1. Горун В.В. Оптимизация дампинга грунтов на украинской части шельфа Чёрного моря. Диссертация на соискание научной степени кандидата географических наук. Одеса, 2015. 281 с.
2. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. 2011 г. <http://www.bestpravo.ru/leningradskaya/ew-pravo/y6p.htm>.

3. Чекренев С.А. Исследование донных отложений поверхностных водоемов и обезвреживание их от тяжелых металлов. Диссерт. <http://www.dissercat.com/content/issledovanie-donnykh-otlozhenii-poverkhnostnykh-vodoevov-i-obezvrezhivanie-ikh-ot-tyazhelykh>
4. Клёнкин А.А., Павленко Л.Ф., Корпакова И.Г., Темердашев З.А. Обоснование обобщающего показателя качества экологического состояния донных отложений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. - № 8. Т. 73. – С. 11 - 14.
5. Коломийцев Н.В., Щербаков А.О., Мюллер Г. Методика исследования загрязнения рек Московского региона тяжёлыми металлами. В зб. «Жизнь Земли». № 30. М.: МГУ, 1997. - С. 164 - 171.
6. Ларина Н.С., Шелпакова Н.А., Ларин С.И., Дунаева А.П. Оценка химико-экологического состояния водоёмов по результатам анализа вод и донных отложений // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 7 – стр. 56-58.
7. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнённость. ГОСТ 17.1.5.01-80.

**Лекція № 18**

**Тема: Типи деградації ґрунтів. Ерозія ґрунту. Руйнування структури ґрунту.**

**Частина 1. Ерозія ґрунту**

**1. Вітрова ерозія ґрунтів (дефляція).**

Пошкодження ґрунту під дією вітру носить назву вітрової ерозії – дефляції. Виділяють нормальну геологічну, антропогенну прискорену та катастрофічну ерозію, яка проявляється у вигляді пилових або чорних бур. Інтенсивної вітрової ерозії насамперед зазнають рівнинні території, не захищені полезахисними лісосмугами, ґрунтозахисною агротехнікою, а також віброударні схили. Найбільше ґрунту видувається на полях, не захищених рослинністю та її відмерлими рештками, а також зайнятих зябом чи погано розкущеними озимими. Влітку вітрова ерозія може проявлятися на парових полях.

Вітрова ерозія ґрунтів залежить: а) від типу ґрунтів (від їх структурованості); б) від наявності рослинного покриву; в) від сили і тривалості вітрів; г) від зволоженості поверхні. Багаторазові прояви вітрової ерозії знижують родючість ґрунту.

Пошкодження ґрунту вітром являє собою фізичний процес, що відбувається при взаємодії повітряного потоку з поверхнею ґрунту. Інтенсивність даного процесу залежить від швидкості вітру та стану поверхні ґрунту. Швидкість вітру, при якій починається рух ерозійно небезпечних фракцій ґрунту, називається критичною, або пороговою.



Вітрова ерозія призводить до утворення справжніх пустельних барханів в тундрі (цитовано за <http://evgengusev.narod.ru/photoalbum3.html>).

Критична швидкість вітру залежить від структурованості ґрунту і розмірів ґрунтових агрегатів: чим більшим є розмір ґрунтових агрегатів, тим при більшій швидкості вітру розпочинається вітрова ерозія ґрунтів (див. табл.).

Розмір ґрунтових агрегатів, мм:	Швидкість вітру, при якій починається вітрова ерозія, м/сек (для ґрунтів з однаковою зволоженістю агрегатів):
Менше 0,25 мм	3,8 м/сек
0,25 – 0,50 мм	5,3 м/сек
0,5 – 1,0 мм	6,6 м/сек
1,0 – 2,0 мм	11,2 м/сек
2,0 – 5,0 мм	12,1 м/сек
3,0 – 5,0 мм	17,6 м/сек

Найбільшій дефляції піддаються ґрунти легкого гранулометричного складу, тобто ґрунти, які містять частинки розміром 0,1 - 0,5 мм і які погано структуровані. Якщо ґрунти мають легкий гранулометричний склад, то вітрова ерозія може повністю знищити родючий шар. Важкі ґрунти також піддаються дефляції. Але, для ґрунту важкого гранулометричного складу - характерні більш високі порогові швидкості вітру за яких розпочинається ерозія ґрунту. Важкі ґрунти, як правило, при наявності гумусу, утворюють дрібно-грудкувату-зернисту структуру, яка хоча і є агрономічно цінною, проте має низьку протидефляційну стійкість.

Ступінь чутливості поверхні ґрунту до вітрової ерозії визначається за співвідношенням крупних і дрібних структурних агрегатів ґрунту. Стійкість до дефляції різко зростає у ґрунтових агрегатів розміром більше 1 мм (тобто у скелетної фракції ґрунту) (див. табл.). Тому, ґрунтові агрегати дрібніше 1 мм - відносяться до дефляційно-небезпечних, а більше 1 мм - до ерозійно-стійких. Якщо в поверхневому шарі ґрунту міститься більше 60% агрегатів більш крупних, ніж 1 мм - то поверхня даного ґрунту вважається дефляційно-стійкою. При вмісті таких агрегатів 50% - поверхня ґрунту вважається помірно стійкою до дефляції. Але, при сильних вітрах (понад 17-20 м/сек) з такого ґрунту видувається близько 4 - 6 т/га ґрунту.

Було встановлено, що порогова швидкість вітру, при якій починається пилова буря, залежить від виду ґрунту (див. табл.), його структурованості, гумусованості, гранулометричного складу, а також від пори року.

Тип ґрунтів:	Критична швидкість вітру, м/сек, (при Д=35 гПа)
Чорнозем південний важкосуглинистий	5,1 ± 0,9 м/сек
Чорнозем південний середньосуглинистий	4,8 ± 0,3 м/сек
Чорнозем південний супіщаний	3,8 ± 0,1 м/сек

Для конкретного ґрунту порогова (критична) швидкість вітру залежить від дефіциту вологості повітря і розраховується наступним чином:

$$V_{кр} = 21,2 - 0,45 \cdot D$$

Де:  $V_{кр}$  – критична швидкість вітру (швидкість вітру, за якої розпочинається вітрова ерозія ґрунтів), м/сек;  $D$  – дефіцит вологості повітря, гПа; 0,45 – коефіцієнт регресії; 21,2 – коефіцієнт, отриманий емпіричним шляхом.

До чинників, що визначають розвиток дефляції ґрунту, відносять погоду і клімат, рельєф місцевості, властивості ґрунту, характер рослинного покриву та господарську діяльність людини (Шикула, Гнатенко, 2001).

Процеси дефляції на території України охоплюють всі ґрунтово-кліматичні зони. Але, найчастіше проявляються в степовій зоні. Максимум пилових бур характерний для цієї зони навесні, що пов'язано з раннім сніготаненням, інтенсивним підвищенням температури, відсутністю суцільного трав'яного покриву. Взимку дефляція відбувається при відсутності сніжного і рослинного покриву і зазвичай - при осінньому дефіциті вологи. У степовій зоні України найбільш дефляційно-небезпечними є вітри, які дують в східному і південно-східному напрямках (напрямок вітру визначають тією точкою горизонту, звідки він дме). Форми рельєфу впливають на напрямок і швидкість вітру і, таким чином на дефляцію ґрунтів. У степовій зоні України в середньому за рік видувається до 21,5 млн. тонн дрібнозему.

Вітрової ерозії в першу чергу піддаються рівнинні території, не захищені лісосмугами, вітроударні схили і т.н., території без рослинності. Зазвичай, найбільш інтенсивна вітрова ерозія спостерігається в квітні - травні, рідше - в січні - лютому (при нестачі вологи в ґрунті).

Рослинний покрив захищає ґрунти від дефляції, оскільки: а) рослинність зменшує швидкість вітру в приземному шарі; б) рослинність зменшує втрати ґрунтової вологи внаслідок випаровування; в) рослини механічно утримують частинки ґрунту корінням. Збереження на полях рослинних залишків - захищає ґрунт від дефляції.



Недооцінка дефляції призвела до того, що родючі землі в багатьох країнах перетворилися в безплідні пустелі (в США - це 7,5% родючих земель). В США в районі Великих рівнин пилова буря 12 травня 1934 р підняла в повітря 300 млн. т. ґрунту з площі 4 млн. га. Освоєні цілинні землі Казахстану і Росії на території 45 млн. га піддалися найсильнішій дефляції через те, що система землеробства не відповідала ґрунтово-кліматичним умовам регіону. Через 11 років після освоєння цілини - 5 млн. га орних земель виявилися повністю непридатними для обробітку.



Вітрова ерозія ґрунту. Наслідки освоєння цілинних земель на півночі Казахстану (цитовано за <http://moezerno.ru/ogorod/soil/eroziya-pochvy-vetrovaya-vodnaya.html>).

В минулому сторіччі найбільш відомою є пилова буря взимку і навесні 1969 р., яка охопила степову і лісостепову зони України, весь Північний Кавказ, Центрально-Чорноземний район Росії. Сотні мільйонів тонн чорноземного ґрунту були підняті в повітря, перенесені на величезні відстані. Чорноземний пил випав грязьовими дощами в Скандинавії, Західній Європі, Великій Британії. Сила вітру сягала 43 - 50 м/сек. Вітер виривав з корінням дерева, перевертав і катав по полю машини, автобуси. Хмари пилу закрили небо, було темно. У зоні інтенсивної дії чорної бурі ґрунт був видутий на 5-15 см. Лісосмуги, що покрилися пилом, перетворилися в земляні вали висотою 3 - 3,5 м. У населених пунктах пилові наноси досягали дахів будинків. У 1984 р. дефляцією було зруйновано 7 млн. га орних земель. Було втрачено 3 млрд. тонн родючого дрібнозему. Такі бурі бувають раз на 10 - 20 років і пов'язані вони з періодами підвищеної сонячної активності. Менш катастрофічні пилові бурі спостерігаються в степовій зоні один раз в 3 - 4 роки.

Науково-обґрунтована система землеробства в дефляційно-небезпечних регіонах здатна захистити від дефляції (створення лісосмуг, безвідвальна обробка ґрунтів, залишення стерні і т.н.).

## **2. Водна ерозія.**

Процес пошкодження ґрунтів та ґрунтових порід під впливом тимчасових водних потоків, який супроводжується порушенням ґрунту, переносом та відкладанням дрібнозему, являє собою сутність процесу водної ерозії. За генезисом тимчасових водних потоків, що спричиняють змив та розмив ґрунту, виділяють такі типи ерозії: ерозія від дощових та зливових опадів, ерозія від стоку талих вод, змішана ерозія, тобто обумовлена як опадами, так і сніготаненням.

Залежно від характеру дії на ґрунт стокових вод виділяють два підтипи водної ерозії: площинний змив ґрунту та лінійний розмив (яружна ерозія). Площинна ерозія проявляється у поступовому, більш-менш рівномірному видаленні дрібнозему з поверхні схилу ґрунту під дією потоків води.

При лінійній ерозії відбувається концентрування стоку і розмив ґрунту у вертикальному напрямку. Внаслідок розмиву поверхні виникає промивина, яка при подальшому надходженні води з водозбірної площі перетворюється на яр.



Водна ерозія ґрунту. Борозди ерозії (цитовано за <http://mvl-saratov.ru/eroziya-pod-kontrolem>).



Утворення яру внаслідок водної ерозії ґрунту (цитовано за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).



Площинна водна ерозія ґрунту (цитовано за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

Кількісну оцінку процесів ерозії здійснюють на підставі оцінки інтенсивності втрат ґрунту з одиниці площі за одиницю часу, тобто в т/га за рік або мм/рік. В таких же одиницях вимірюється і швидкість процесів ґрунтоутворення. Порівнюючи між собою інтенсивність втрат ґрунту зі швидкістю ґрунтоутворення, можна зробити висновки щодо небезпеки водноерозійних процесів: якщо інтенсивність ерозійних процесів нижча, ніж швидкість ґрунтоутворення, то ерозія для даного ґрунту не є небезпечною.

Нормальна геологічна ерозія відбувається під природною рослинністю, не зміненою дією людини. За своєю природою ця ерозія є дуже повільною і, як правило, не призводить до утворення еродованих ґрунтів, тому що втрати ґрунту протягом року повністю компенсуються процесом утворення ґрунту. Прискорена антропогенна ерозія розвивається там, де внаслідок господарської діяльності людини природну рослинність знищено, а територія використовується без урахування її природних властивостей. В такому випадку втрати ґрунту набагато перевищують його новоутворення, що призводить до різкого зниження родючості.

До природних чинників утворення осередків ерозії належать такі: рельєф місцевості; форма поверхні схилів; експозиція схилів; крутизна схилів; розміри природних водозборів; зливовий характер опадів; швидкість весняного сніготанення; запаси води в снігу (Шикіула, Гнатенко, 2001).

### **3. Іригаційна ерозія ґрунтів.**

Іригаційна ерозія ґрунтів - це ерозія, яка розвивається в ґрунтовому шарі в результаті процесів зрошення сільськогосподарських земель. Виділяють такі типи зрошення: а) дощування (при неправильному дощуванні - розвивається площинна ерозія ґрунтів); б)

зрошення по борознах (при неправильному зрошенні даного типу - розвивається як площинна, так і лінійна ерозія ґрунтів). У Середній Азії і Південному Казахстані налічують близько 1 млн. га еродованих зрошуваних земель.



Іригаційна ерозія ґрунтів (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

При ерозії ґрунтів: зменшується товщина гумусового горизонту; зменшується запас мінеральних речовин, необхідних для живлення рослин; погіршуються водно-фізичні властивості ґрунтів.

Методи боротьби з іригаційною ерозією ґрунтів: 1) вкорочення поливних борозен; 2) зменшення нахилу борозен; 3) попереднє зволоження ґрунтів малими кількостями води (при надлишку води вона не встигає просочитися вглиб і стікає по поверхні, змиваючи ґрунтовий шар); 4) мала швидкість подачі поливальної води (швидкість подачі води повинна відповідати швидкості просочування води вглиб ґрунтів); 5) мульчування (закривання) поверхні ґрунту рослинними залишками (рослинні залишки пом'якшують ударну силу води і не дають руйнувати ґрунтові агрегати); 6) при дощуванні - необхідно зменшувати розміри крапель води і т.н.

#### **4. Пасовищна ерозія ґрунтів (цитовано за [http://lekcion.ru/radioelektronnaya\\_apparatura/11371-pasovishchna-eroziya.html](http://lekcion.ru/radioelektronnaya_apparatura/11371-pasovishchna-eroziya.html)).**

Розбивання дернини і руйнування ґрунту худобою відносять до окремого чинника деградації ґрунтів - пасовищної ерозії. Цей різновид ерозії має свої закономірності розвитку. Під час випасання худоби на схилових землях тварини копитами розбивають дернину і зміщують частину ґрунту вниз по схилу. Внаслідок цього на схилах утворюються худобопрогінні стежки, мікротераси, позбуті рослинності. Дернина трав має високу ґрунтозахисну ефективність, тому її знищення різко зменшує протиерозійну захищеність схилів. На них швидко розвиваються водорієвні та яри. Пасовища різко знижують свою продуктивність, забезпечуючи лише 2-5 ц/га сіна низької якості.

На пасовищних схилах через надмірний і безсистемний випас худоби степове угруповання трав з типчакково-ковилового поступово перетворюється на дуже збіднене за видовим складом типчакове. Зникають деякі види бобових і злакових цінних пасовищних рослин, і навіть типчак зменшується в рості на 5-8 см. Зберігаються лише неїстівні чи отруйні види трав, наприклад молочай, полин австрійський, які нерідко складають основу рослинності таких витоптаних схилів.

Під ударами кінцівок тварин руйнуються водотривкі агрегати, ущільнюється ґрунт, підсилюється стік, погіршується забезпеченість рослин вологою. Погіршення ґрунту відбувається паралельно з його переміщенням по схилу разом з рослинами, що на ньому ростуть. Таке механічне переміщення є визначальним чинником розвитку пасовищної ерозії. Потоки води, що надходять на такі схили з ділянок полів, розміщених вище, перетворюють пасовища на пустелі та яри. Сприяє цьому і вітрова ерозія. Особливу небезпеку приховують у собі витопані прогони худоби перепади тимчасових водних

потоків. Слід від копита глибиною 5-10 см збільшує швидкість потоку з 0,1-0,2 до 1-1,4 м/с. Найбільш вибитими є худобопрогони, а також ділянки пасовищ, що прилягають до ферм, населених пунктів.

Отже, пасовищна ерозія, підсилена водною та вітровою ерозією, здатна перетворити природні кормові угіддя на схилах у пасовищний збій, вигони з надзвичайно низькою продуктивністю. Поверхня схилів стає зруйнованою водоріями та ярами. Такі угіддя потребують докорінної меліорації земель. На гірських схилах внаслідок пасовищної ерозії землі цілком втрачають дрібнозем, перетворюючись на кам'янисті пустелі. У байрачних лісах пасовищна ерозія призводить до вибивання дернини, підсилення водної ерозії, утворення водоріїн та ярів (цитовано за [http://lekcion.ru/radioelektronnaya\\_apparatura/11371-pasovishchna-eroziya.html](http://lekcion.ru/radioelektronnaya_apparatura/11371-pasovishchna-eroziya.html)).

## **Частина 2. Природні і антропогенні фактори деградації структури ґрунту.**

### **1. Поняття структури ґрунту.**

Механічні частинки ґрунту знаходяться або у вільному стані, або об'єднуються одна з одною в структурні агрегати різного розміру і форми. Здатність ґрунту розпадатися на агрегати - називається структурністю.

Структура ґрунту - це сукупність агрегатів різної величини, форми, пористості, механічної міцності і водостійкості, які характерні для кожного ґрунту і для кожного горизонту. Форма і розмір структурних агрегатів є діагностичними ознаками того чи іншого ґрунту або окремого горизонту.

Структурні агрегати ґрунтів формуються під впливом ряду факторів: періодичного намочання і висихання; періодичного замерзання і відтавання ґрунтової маси; коагуляції; надходження гумусу і т.н. Основною умовою протікання цього процесу в ґрунтах є: 1) наявність тонкодисперсних частинок і 2) двовалентних катіонів як коагуляторів. Коагуляція ґрунтових колоїдів обумовлює укрупнення частинок ґрунту, формування структурних агрегатів. Третьою важливою умовою структуроутворення ґрунтів - є наявність гумусних речовин і, зокрема, гумінових кислот, які склеюють, цементують механічні частинки ґрунту. При відсутності хоча б одного з трьох компонентів - структурні агрегати можуть формуватися, але - вони будуть не міцними. Таким чином, ґрунтові агрегати - це сукупність механічних елементів ґрунту, які взаємно утримуються в результаті коагуляції.

Від ступеня оструктуреності ґрунту залежать його фізичні властивості і родючість. Ступінь оструктуреності ґрунту характеризується коефіцієнтом структурності ґрунту (K), який визначають за даними ситового аналізу ґрунту. Всі ґрунтові агрегати ділять на: мікроагрегати (дрібніше 0,25 мм), мезоагрегати (0,25 - 10 мм), макроагрегати (більше 10 мм). Мезоагрегати вважаються агрономічно цінними.

$$\text{Тому, } K = \frac{a}{b}$$

Де: K – коефіцієнт структурності ґрунту; a - кількість мезоагрегатів в зразку ґрунту; b - сума макроагрегатів і мікроагрегатів в ґрунтовому зразку.

Наприклад, ґрунт (або горизонт) містять макроагрегатів 7,2%, мезоагрегатів - 87,3% і мікроагрегатів - 5,5%. Для даного ґрунту коефіцієнт структурності ґрунту становить:  $K = 87,3 : 12,7 = 6,87$ . Чим вищим є коефіцієнт структурності ґрунту, тим краще фізичні властивості і вище родючість даної ґрунту.

Крім того, в агрономічній літературі є інший підхід до оцінки структурного стану ґрунту. З агровиробничої точки зору найбільшу цінність представляють структурні агрегати розміром від 1 мм до 5 мм. Процентний вміст в ґрунті агрегатів такого розміру встановлюють, визначаючи його структурний склад.

Добре оструктурованими ґрунтами є ґрунти, які містять 80% і більше структурних агрегатів розміром 1 - 5 мм, середньо-структурованими - 50-80% і погано-структурованими - менше 50%. Оцінюючи структурний склад ґрунту необхідно також враховувати вміст мікроагрегатів і макроагрегатів. ґрунт, який містить багато макроагрегатів (структур більш

крупних, ніж 10 мм) - називають грудкуватим (брилистим); а якщо ґрунт містить багато мікроагрегатів (структури дрібніше 0,25 мм) - такий ґрунт називається пилуватим. Крім того, важливим в оцінці структури ґрунту є визначення його водовитривалості. Таким чином, для землеробства важливим є те, щоб ґрунт мав не будь-які структурні агрегати, а агрегати певного розміру і стійкості до розмивання.

\*Метод Н.І. Саввінова оцінки структурного складу ґрунту: зі змішаної проби ґрунту відбирають 1 кг і просівають 0,5 кг через сита (механічно не розтираючи зразок ґрунту); інші 0,5 кг проби ґрунту заливають в циліндр водою, 10 раз інтенсивно повертають циліндр для руйнування водопрочних агрегатів, потім - в ємність з водою поміщають сита і під водою відокремлюють фракції одна від одної.

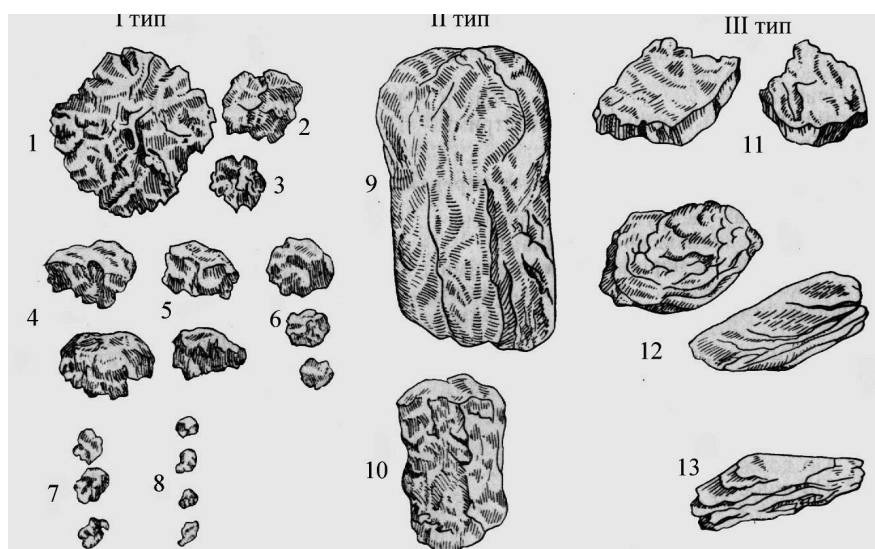
Якщо в ґрунті присутні природні агрегати будь-якої форми - його називають структурним. Якщо ґрунтова маса не розпадається на агрегати, а має сипучість (як пісок), то такий ґрунт називають безструктурним.

Чому структурні ґрунти є родючими? В структурних ґрунтах формується оптимальний водний, повітряний, тепловий, поживний, окисно-відновний і мікробіологічний режими.

**Динаміка ґрунтових структурних агрегатів.** Одночасно з формуванням структурних ґрунтових агрегатів - в ґрунті відбуваються процеси їх руйнування. Якщо переважає процес руйнування, то ґрунт може стати безструктурним і втратити свою родючість.

Основними факторами руйнування структури ґрунту є: а) часта обробка ґрунту сільськогосподарськими машинами; б) випас худоби на полях; в) виснаження ґрунтів за органічною речовиною (нестача перегною); г) вилуговування двовалентних катіонів внаслідок зрошення полів високомінералізованими водами, в результаті випадання кислотних дощів, в результаті внесення на поля добрив і хімікатів і т.н.

Основними методами збереження та поліпшення структурного стану ґрунтів є: мінімальна обробка ґрунту, захист ґрунту від водної ерозії, внесення органічних добрив, вапнування, гіпсування, вирощування на полях багаторічних трав, тощо.



Найголовніші види структури ґрунту (за С.О. Захаровим): I тип: 1 – крупногрудкувата; 2 – грудкувата; 3 – дрібногрудкувата; 4 – крупногоріхувата; 5 – горіхувата; 6 – дрібногоріхувата; 7 – крупнозерниста; 8 – зерниста; II тип: 9 – стовпчаста; 10 – призматична; III тип: 11 – сланцювата; 12 – пластинчаста; 13 – листова (цитовано за <http://mir.zavantag.com/geografiya/259028/index.html?page=8>).

## **2. Антропогенні фактори, які порушують структуру ґрунту.**

До антропогенних факторів, які призводять до руйнування структури ґрунту відносяться: а) робота на полях важкої сільськогосподарської техніки; б) перевипас худоби; в) внесення на поля добрив, обробка хімічними засобами захисту рослин, випадіння кислотних дощів, зрошення полів високомінералізованими водами (ці фактори призводять до втрати в ґрунтовому комплексі поглинання двохвалентних катіонів кальцію, які забезпечують структурування ґрунтових частинок); г) дегуміфікація ґрунтів і т.н.

Негативні наслідки неправильного зрошення сільськогосподарських територій. До негативних наслідків неправильного зрошення територій відносяться: а) іригаційна ерозія ґрунтів (див. вище); б) підтоплення території зрошення; в) вторинне засолення ґрунтів; г) вторинне осолонцювання ґрунтів і т.н.

Вторинне засолення ґрунтів. При первинному засоленні ґрунтів - солі утворюються в ґрунтовому горизонті при перетворенні первинних мінералів на вторинні мінерали. Утворені солі потім вилуговуються вниз по ґрунтовому профілю і в посушливих кліматичних умовах - осідають у вигляді новоутворень на глибинах 70 - 120 см. При надмірному зрошенні території - ці солі знову розчиняються і по ґрунтовим капілярам підіймаються вгору, викликаючи в ґрунтах розвиток вторинного засолення. При надмірному зрошенні вторинне засолення ґрунтів також розвивається при підтягуванні до поверхні високомінералізованих підземних вод. Або за умови використання під час зрошення високомінералізованих вод.

ґрунти з рівномірним вмістом різних солей по ґрунтовому профілю називаються засоленими і солончаками (в залежності від концентрації солей). Засолені ґрунти з часом осолонцюються, а при дуже великих нормах зрошення - і осолодівають. Відомо, що засолені ґрунти з часом піддаються розсоленню. При цьому одновалентні іони натрію заходять в ґрунтовий поглинаючий комплекс, а двовалентні катіони - вимиваються вниз по ґрунтовому профілю, що в підсумку, призводить до осолонцювання ґрунтів. Осолонцьований ґрунт, через відсутність двовалентних катіонів кальцію, втрачає свою структуру і набуває несприятливих фізичних властивостей: в посушливих умовах такі ґрунти легко видуваються вітрами, або - кам'яніють і розтріскуються, якщо до цього були перезволоженими; при перезволоженні ґрунтів - не пропускають воду в глиб ґрунтового горизонту, оскільки мають низьку водопроникність; при цьому, завдяки високому вмісту гідрофізичних колоїдів осолонцьовані ґрунти утримують значну кількість води, недоступної для рослин і т.н.

Щоб запобігти осолонцюванню ґрунтів - необхідно відводити надлишок поливальної води за допомогою дренажу і одночасно проводити хімічне меліоративне гіпсування ґрунтів (гіпс,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Якщо осолонцьовані ґрунти тривалий час знаходяться в умовах підтоплення - в них розвивається процес осолодіння (витіснення іонів натрію іонами водню з ґрунтового поглинаючого комплексу). Таким чином, крім несприятливих фізичних властивостей - ґрунти стають кислими, що негативно впливає на розвиток рослин. Для запобігання розвитку процесів осолодіння – відводять з полів надлишок води і проводять меліоративне вапнування ґрунтів.

Надлишковий вміст солей у воді, яка використовується для зрошення, є потенційно небезпечним для розвитку вторинного засолення ґрунтів. Нормативи ДУСТ стандартів по вмісту солей в зрошувальній воді наведені в таблиці. Якщо в складі води, яка використовується для зрошення, концентрація іонів натрію  $\text{Na}^+$  є достатньо високою, порівняно з вмістом інших катіонів, – така вода є небезпечною за натрієвим осолонцюванням ґрунтів. За М.Ф. Будановим: якщо  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} > 1$ , то така вода є не придатною для зрошення. Нормативи ДУСТ стандартів за безпекою розвитку натрієвого осолонцювання – наведені в таблиці.

Якщо концентрація іонів магнію  $\text{Mg}^{2+}$  у воді, яка використовується для зрошення, перевищує концентрацію іонів кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  - то така вода є небезпечною за магнієвим осолонцюванням.

Аналіз хімічного складу води, яка використовується для зрошення полів на півдні України, виявив, що в ряді випадків води зрошення є небезпечними по розвитку негативних процесів в ґрунтах регіону (див. таблицю).

Таблиця.

Хімічний склад води, що використовується для зрошення полів (г/л) на півдні України

Джерело води для зрошення:	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Сl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
р. Дніпр, весна	0,1536	0,0768	0,084	0,216	0,048	0,0792
р. Дніпр, літо	0,1728	0,0816	0,132	0,120	0,132	0,1344
Північно-Кримський канал	0,207	0,044	0,085	0,080	0,012	0,033
Каховський канал	0,174	0,058	0,084	0,046	0,021	0,041
Інгулецький канал	0,091	0,784	0,900	0,372	0,576	0,859
Вода зі скидного колектора	0,293	0,122	0,064	0,057	0,246	0,264
Дренажна вода	0,592	0,324	0,338	0,075	0,089	0,322

Таблиця.

Стандартна таблиця для оцінки якості вод зрошення

Сума іонів, г/л	Небезпека води за засоленням: (+) – небезпечно (-) - безпечно	Na <sup>+</sup> · 100% сума катионів	Небезпека води за осолонцюванням: (+) - небезпечно, (-) - безпечно	Придатність води для зрошення
< 0,6	(+) Дуже мала	50-70%	(+) Дуже мала	Придатна, якщо вміст Mg <sup>2+</sup> не перевищує вміст Ca <sup>2+</sup> у воді
0,6-1,5	(+) Мала	43-50%	(+) Дуже мала	
1,5-3	(+) Середня	40-43%	(+) Дуже мала	
3-5,1	(+) Велика	Менше 40%	(+) Дуже мала	
< 0,6	(+) Дуже мала	50-100%	(+) Мала	Обмежено придатна, якщо вміст Mg <sup>2+</sup> не перевищує вміст Ca <sup>2+</sup> у воді
0,6-1,5	(+) Мала	43-100%	(+) Мала	
1,5-3	(+) Середня	40-73%	(+) Мала	
3-5,1	(+) Велика	40-60%	(+) Мала	
0,6-1,5	(+) Мала	73-100%	(+) Мала	Умовно придатна, якщо вміст Mg <sup>2+</sup> не перевищує вміст Ca <sup>2+</sup> у воді.
1,5-3	(+) Середня	60-100%	(+) Середня	
3-5,1	(+) Велика	50-100%	(+) Велика	
2,1-3	(+) Середня	68-100%	(+) Середня	Непридатна
3-5,1	(+) Велика	50-100%	(+) Велика	

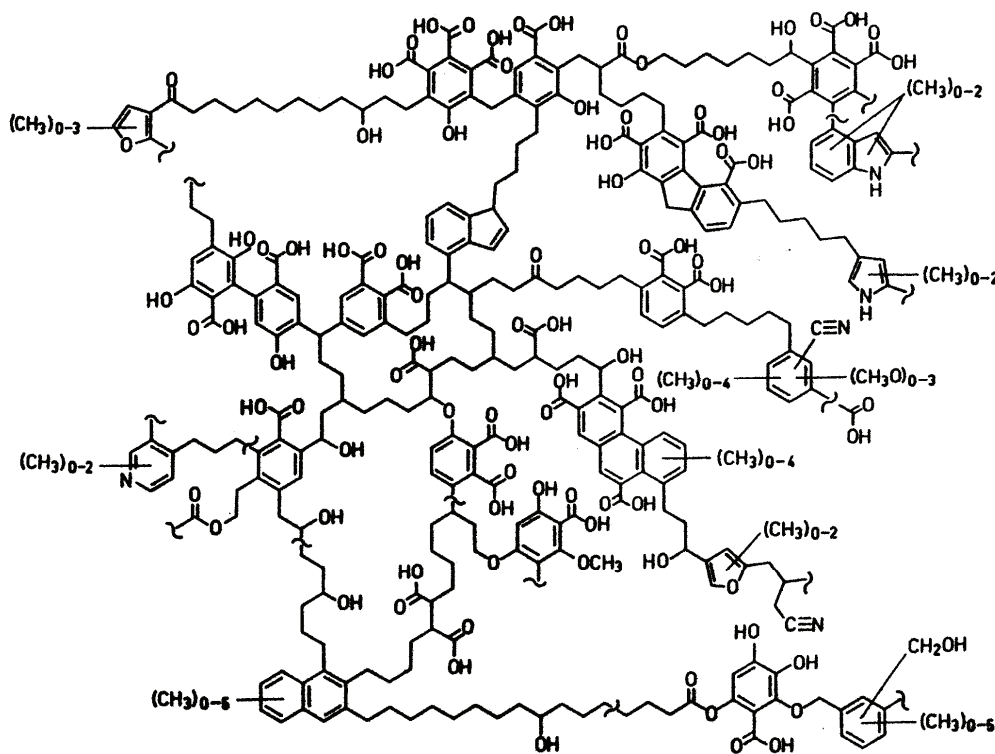
### 3. Дегуміфікація ґрунтів.

Багатовікова дегуміфікація відбувалась під впливом часткового руйнування малого біологічного колообігу речовин, тобто в наслідок порушення землеробського закону повернення: із ґрунту постійно вносились з урожаєм елементи живлення та органічна речовина, яка є найважливішим фактором ґрунтоутворення. Зменшення обсягів її надходження у ґрунт гальмувало ґрунтоутворний процес, що відновлює родючість. Це і є причиною того, що з 10-11% гумусу, які були в українських чорноземах до розорювання цілинних земель, нині залишилось 2,5-6%. Вміст гумусу зменшується швидше, коли порушується співвідношення між нормами внесення органічних і мінеральних добрив (Шикула, Гнатенко, 2001).

Відомо, що гумус синтезують ґрунтові мікроорганізми із залишків відмерлої рослинності. Гумусні частинки є місцем існування даних мікроорганізмів. Згодом - гумус старіє і стає токсичним для ґрунтових мікроорганізмів. Тому, вони руйнують старий гумус і синтезують новий гумус. На сільськогосподарських полях вивезення сільськогосподарської продукції призводить до того, що з часом старий гумус руйнується мікроорганізмами, а новий гумус мікроорганізми не спроможні синтезувати через відсутність на полях рослинних

залишків. Поступова втрата гумусу, в свою чергу, призводить до руйнування ґрунтової структури, до значного погіршення фізико-механічних властивостей ґрунтів і, відповідно, до зниження їх родючості.

Зменшення кількості гумусу на сільсько-господарських полях супроводжується зниженням його якості: зростає частка інертного гумусу (тобто в складі гумусу починають переважати гуміни, а не гумінові кислоти та фульвокислоти). Гуміни - це пасивна частина гумусу. Гуміни не розчинні ні в кислотах, ні в органічних розчинниках. Гуміни - погано віддають адсорбовані мінеральні елементи, необхідні для харчування рослини. Т.ч., гумус, в якому багато гумінів, - не сприяє родючості ґрунтів.



Структура молекули гумінової кислоти гумусу (за <http://www2.acadiau.ca/~jmurimbo/Research%20Interests%202.htm>).

### Контрольні питання:

1. Поняття ерозії ґрунтів. Типи ерозії ґрунтів.
2. Фактори, які впливають на інтенсивність вітрової та водної ерозії ґрунтів.
3. Поняття про гранично допустимий рівень ерозії ґрунтів.
4. Поняття про структури ґрунту.
5. Антропогенні фактори, які призводять до руйнування структури ґрунту.
6. Порушення структури ґрунту внаслідок вторинного осолонцювання та осолодіння ґрунтів під час їх зрошення.
7. Дегуміфікація ґрунтів.

### Література:

1. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. М., "Колос", 1978, 288 с.
2. Барановський В.А., Шищенко П.Г. Стійкість природного середовища. - К.: 2002. - 35 с.
3. Владимиров А.Г. Мелиоративная гидрогеология. М., Госгеолтехиздат, 1961.
4. Геоморфология. Підручник. Київ. 1999.
5. Географічна енциклопедія. Київ. 2000.
6. Гуцуляк В.М. Ландшафтна екологія: Геохімічний аспект. Навч. посібник. - Чернівці: Рута., 2002. - 272 с.
7. ДСТУ 3866-99 Ґрунти. Класифікація ґрунтів за ступенем вторинної солонцюватості

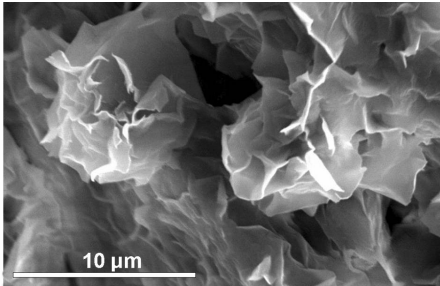


8. Закон України Про охорону земель (ст. 1) м. Київ, 19 червня 2003 року N 962-IV.
9. Земельний Кодекс України (ст. 171) м. Київ, 25 жовтня 2001 року N 2768-III.
10. Кац Д.М. Влияние орошения на грунтовые воды. М., Колос, 1976.
11. Ковальчук І. П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. - Львів, 1997.
12. Крупский Н. К. Значение и техника осолонцевания грунтов. - М., 1950. - 32 с.
13. Ларионов Г. А. Эрозия и дефляция почв. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. - 200 с.
14. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / За ред. В. С. Білецького. - Донецьк: Донбас, 2004. - ISBN 966-7804-14-3.
15. Новикова А. В. Исследования засоленных и солонцовых почв: генезис, мелиорация, экология. Избранные труды. - Х.: КП "Друкарня 13", 2009. - 720 с.
16. Основи геології та геоморфології. Київ. 1996.
17. Основи ерозієзнавства: підручник для студентів вищих навчальних закладів / О. О. Світличний, С. Г. Чорний. - Суми: Університетська книга, 2007.
18. Охорона ґрунтів. Київ. 2001.
19. Парфёнова Н.И., Решёткина Н. Экологические принципы регулирования гидро-геологического режима орошаемых земель. С.П. Гидрометеиздат.1995, 360 с.
20. Почвоведение. Под ред. Проф. Кауричева И.С. М.: Агропромиздат. 1989. Стр. 178 – 188.
21. Практикум по почвоведению. Под ред. Проф. Кауричева И.С. М.: Колос. 1973. Стр. 5 - 17.
22. Постанова Верховної Ради України «Про Національну програму екологічного оздоровлення басейну Дніпра та покращення якості питної води». Київ. 27.02.1997. № 123/97-ВР. [http://www.nature.org.ua/dnipro/r\\_prog.htm/](http://www.nature.org.ua/dnipro/r_prog.htm/).
23. Ромащенко М. І., Балюк С. А. Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення. - К.: Видавництво «Світ», 2000. - 114 с.
24. Руденко С.С., Костишин С.С, Морозова Т.В. Загальна екологія: практичний курс. Частина 1. – Чернівці.: Рута., 2003. – 320 с.
25. Чорний І.В. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства: Навч. Посібник. – К.: Вища шк. 1995. - 240 с.
26. Чорний С.Г. Схиліві зрешувальні агроландшафти: ерозія, ґрунтоутворення, раціональне використання. – Херсон: «Борисфен», 1996. – 171 с.
27. Швевс Г. И. Теоретическое эрозиоведение. - Киев-Одесса: Вища школа, 1981. - 223 с.
28. Шикула М.К., Гнатенко О.Ф. Охорона ґрунтів. Підручник: - 2-ге., - К.: Т-во «Знання», КОО., 2001. – 398 с.

**Тема: Ґрунтовий комплекс поглинання. Хімічне забруднення ґрунтового покриву.**

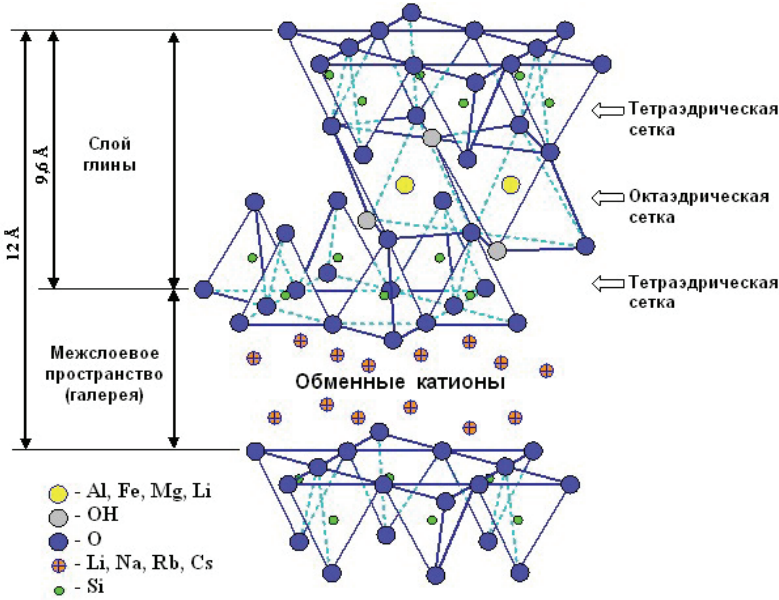
**1. Поглинання катіонів і аніонів ґрунтовими частинками.**

Ґрунти складаються з мінеральних, органічних і мінерало-органічних частинок. Всі типи ґрунтових частинок здатні адсорбувати на своїй поверхні іони. При цьому, чим дрібніше розміри частинок - тим більше сумарна поверхня цих частинок і тим більше речовин може бути адсорбовано на їх поверхні. Серед мінеральних частинок ґрунту - найбільша ємність поглинання була виявлена для глинистих мінералів, що складаються з дуже дрібних частинок. При цьому важливо відзначити, що глинисті мінерали не тільки спроможні адсорбувати речовини на своїй поверхні: структура їх кристалічної решітки така, що частина обмінних іонів може заходити всередину мінералу між окремими шарами їх кристалічної решітки в т.зв. «кишені» (див. схему). Якщо ґрунт піддається багаторазовому намоканню - висушуванню, обробці важкою технікою і т.п., то іони в «кишенях» глинистих мінералів стають незворотно пов'язаними і вже не можуть використовуватися рослинами для кореневого живлення.



10 μm

Будова глинистого мінералу каолініту (Al<sub>4</sub>[Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>](OH)<sub>8</sub>) під електронним мікроскопом (цитовано за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).



12 Å

9.6 Å

Слой глины

Межслоевое пространство (галерея)

Обменные катионы

- - Al, Fe, Mg, Li
- - OH
- - O
- ⊕ - Li, Na, Rb, Cs
- - Si

Тетраэдрическая сетка

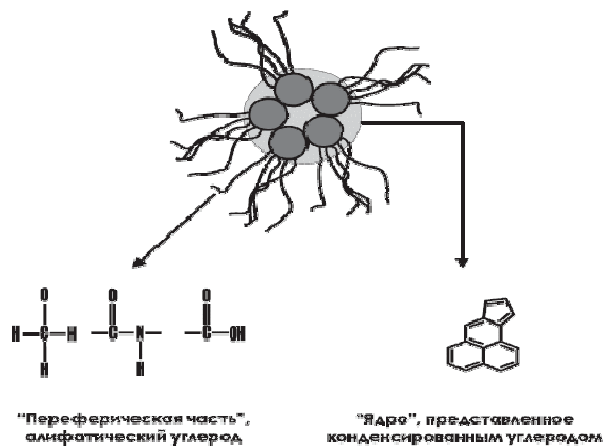
Октаэдрическая сетка

Тетраэдрическая сетка

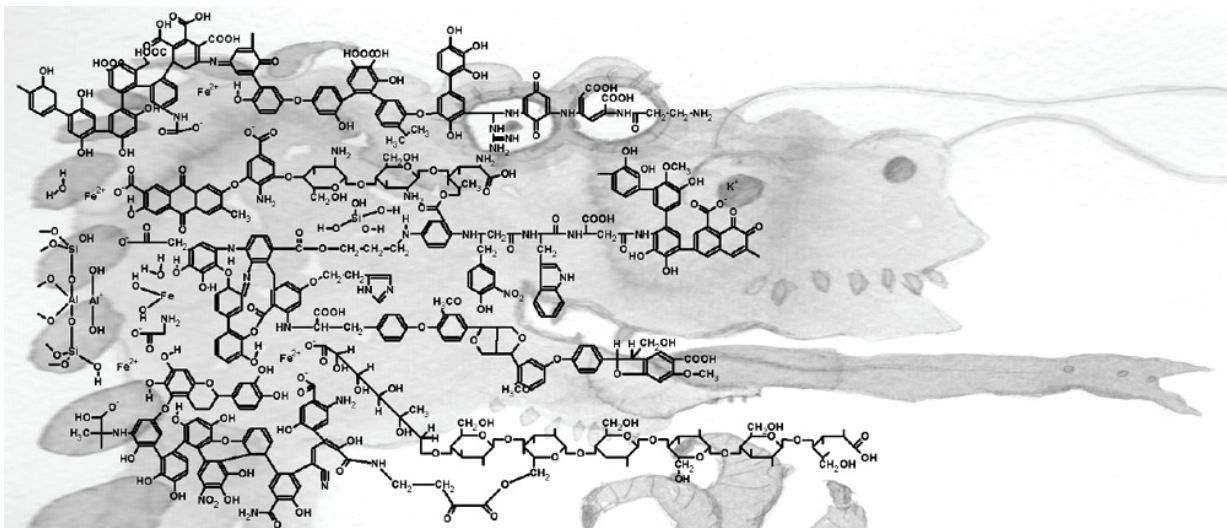
Будова кристалічної решітки глинистого мінералу (цитовано за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

Дуже високу ємність поглинання іонів мають гумусні частинки. При цьому іони, поглинені «ядром» гумусної молекули, як правило, виявляються міцно пов'язаними і не можуть використовуватися рослинами для свого кореневого живлення. Тоді як іони, приєднані до периферичної частини гумусної молекули, легко обмінюються на катіони водню, що виділяються корневими волосками рослин при голодуванні рослини по мінеральним поживним речовинам.

\*NB! Гумінові і фульвокислоти гумусних частинок приєднують до себе переважно катіони з ґрунтового розчину. Тоді як мінерали ґрунтів – здатні приєднувати до себе як катіони, так і аніони. Виявилося, що гідроксиди алюмінію, які входять до складу кристалічних решіток глинистих мінералів, в звичайних умовах – поведуться як кислоти, а в кислому середовищі – поведуться як луги. Це дозволяє алюмосилікатам глинистих мінералів приєднувати до себе як катіони, так і аніони.



Схематична будова молекули гумусу: «ядро» і «периферична частина» молекули (цитовано за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).



Гіпотетичний структурний фрагмент гумусових кислот ґрунтів по Кляйхенхемпель, 1970 («Наука і життя») (цитовано за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

## **2. Ґрунтовий комплекс поглинання.**

До ґрунтових частинок завжди приєднані катіони і аніони. При цьому частина іонів приєднується зворотньо, тоді як приєднання інших іонів - є незворотнім. Мінеральні і гумусні частинки ґрунту утримують навколо себе досить міцно не тільки різні іони, але - і молекули води. Ця вода формує гідратні оболонки навколо ґрунтових частинок. Таку воду не можливо відокремити від ґрунтових частинок механічно. Сукупність гідратованих ґрунтових частинок утворює ґрунтовий колоїд. Колоїд - це система, проміжна між істинними розчинами і суспензіями. У ґрунті одночасно присутні мінеральні, гумусні і гумусно-мінеральні колоїди. Сукупність цих колоїдів називають ґрунтовим комплексом поглинання.

## **3. Механізм структурування ґрунтових частинок.**

Рідкий стан ґрунтового колоїду називається «золь», а твердий стан ґрунтового колоїду - називається «гель». Коагуляція – це перехід ґрунтових колоїдів зі стану «золь» в стан «гель». Такий перехід відбувається в присутності двовалентних катіонів кальцію. Пептизація – це зворотний перехід ґрунтових колоїдів зі стану «гель» в стан «золь». Пептизація ґрунтових колоїдів відбувається в присутності одновалентних катіонів (наприклад, катіона водню, катіона натрію і т.н.).

Важливе значення у формуванні фізичних властивостей і родючості ґрунтів має склад поглинених катіонів. Наявність в ґрунтах значної кількості двовалентних катіонів кальцію і тривалентних катіонів заліза - забезпечує коагуляцію ґрунтових колоїдів, яка лежить в основі формування структурних агрегатів ґрунту. При цьому структуровані ґрунти набувають оптимальні повітряні, водні та поживні властивості.

Ґрунтові колоїди, які насичені одновалентними катіонами натрію, калію, водню, в ґрунті знаходяться в стані золь. Ці іони викликають процес пептизації. При заміні їх на дво- і трьох-валентні катіони - відбувається коагуляція ґрунтових колоїдів. При вапнуванні (внесенні в ґрунти  $\text{CaCO}_3$ ) і при гіпсуванні (внесенні в ґрунти  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) - іони кальцію витісняють іони водню, натрію, калію з ґрунтового поглинаючого комплексу колоїдних частинок і забезпечують їх перехід зі стану золь в стан гелю. В результаті - поліпшується структурний стан ґрунту і підвищується його родючість.

Розуміння механізму фазових переходів ґрунтових колоїдів дозволяє ефективно проводити меліорацію ґрунтів: а) меліорацію кислих ґрунтів (що містять надлишок іонів водню в ґрунтовому комплексі поглинання) - проводять вапнуванням ( $\text{CaCO}_3$ ); б) меліорацію лужних ґрунтів (що містять надлишок поглинених іонів натрію) – проводять гіпсуванням ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Обидві меліоративні схеми дозволяють замінити одновалентні катіони двовалентними катіонами і відновити втрачену ґрунтову структуру.

#### **4. Ємність поглинання ґрунтів.**

Загальна кількість всіх катіонів, поглинених ґрунтовими колоїдами, називається ємністю поглинання. Цю величину виражають у міліграм-еквівалентах на 100 г ґрунту. Ємність поглинання ґрунтових колоїдів залежить: а) від наявності в ґрунті дрібнодисперсних мінеральних часток і від їх мінералогічного складу (каолінит мало поглинає іонів, а монтморилоніт – багато); б) від наявності в ґрунті гумусних речовин (гумінових і фульвокислот). Ґрунти з високим вмістом тонкодисперсних частинок (глинисті ґрунти) – мають більш високу ємність поглинання в порівнянні з піщаними ґрунтами, у яких низька питома поверхня. Серед глинистих мінералів найбільшу ємність поглинання мають мінерали групи монтморилоніту, а найменшу – мінерали групи каолініту. Гідрослюди займають проміжне положення по цьому показнику. Таким чином, найбільшу ємність поглинання мають глинисті ґрунти, в складі яких багато тонкодисперсних частинок монтморилонітів і багато гумусних речовин. Прикладом таких ґрунтів є чорноземи, сформовані на лесах і лесовидних суглинках в умовах помірно-континентального клімату.

Ємність поглинання мінеральних і органічних колоїдів ґрунту

Глинисті мінерали і гумусні сполуки:	Ємність поглинання, мг · екв / 100 г ґрунту:
Глинисті мінерали групи каолініту	3 - 20 мг · екв / 100 г ґрунту
Глинисті мінерали групи гідрослюди	20 - 50 мг · екв / 100 г ґрунту
Глинисті мінерали групи монтморилоніту	60 - 150 мг · екв / 100 г ґрунту
Гумінові кислоти і їх солі:	
- в підзолистих ґрунтах	350 мг · екв / 100 г ґрунту
- в чорноземах	400 - 500 мг · екв / 100 г ґрунту

#### **5. Роль ґрунтового комплексу поглинання в живленні рослин.**

Ємність поглинання, поряд з іншими факторами, обумовлює рівень родючості ґрунту. Чим більше ємність поглинання, тим вище родючість ґрунтів. Це пояснюється тим, що частина поглинених катіонів (обмінні катіони) є доступною для кореневого живлення рослин. В процесі мінерального живлення рослини відбувається обмін іонів водню, які виділяють кореневі волоски, на катіони обмінного шару колоїдної міцели ґрунту.

Таким чином, чим більше в ґрунті поглинених іонів – тим більше в ньому поживних речовин для рослин. Найбільшу ємність поглинання мають високо родючі ґрунти: чорноземи, сірі лісові ґрунти, каштанові ґрунти. Чим вище обмінна ємність поглинання ґрунтів – тим вище родючість ґрунтів.

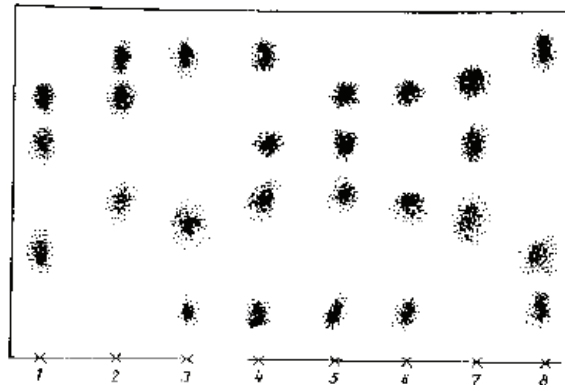
## **6. Екологічне значення поглинальної здатності ґрунту.**

З одного боку, явище поглинання частинками ґрунту на своїй поверхні різних речовин – має важливе значення в процесі ґрунтоутворення і формування родючості ґрунтів. Однак, з іншого боку, при попаданні в ґрунтовий шар забруднюючих речовин (неорганічних або органічних) – вони тривалий час утримуються на ґрунтових частинках, що уповільнює самоочищення ґрунтів від забруднюючих речовин. При цьому ґрунтові організми зазнають токсичної дії забруднюючих речовин. Крім того, означені речовини стають доступними для кореневого живлення рослин і спроможні накопичуватися в їх клітинах в значних кількостях (за умови неселективної дії означених токсинів на рослини).

## **7. Відбір проб ґрунту та методи виявлення забруднюючих речовин в пробах ґрунту.**

На території дослідження відбирають змішану пробу ґрунту масою 1 кг на глибині не менше ніж 30 см. Надалі пробу ґрунту: а) промивають водою - це дозволяє виявити в ґрунті водорозчинні забруднюючі речовини; б) пробу ґрунту промивають буфером (розчин хлориду амонію) - це дозволяє виявити присутність в ґрунті забруднюючих речовин, доступних для живих організмів; в) промивають ґрунт концентрованими кислотами при нагріванні - це дозволяє виявити в ґрунті присутність потенційно-небезпечних забруднюючих речовин.

Наявність важких металів в пробі ґрунту встановлюють за допомогою атомно-абсорбційного аналізу проби, а присутність органічних забруднюючих речовин - визначають за допомогою хроматографічного розділення органічних забруднюючих речовин (рідинна або тонкошарова хроматографія) і подальшої мас-спектрометрії продуктів хроматографії.



Тонкошарова хроматограма розділення гербіцидів (зони зверху вниз): 1 – прометон, атразин, промазин; 2 – симетрин, промазин, прометрин; 3 – атратон, симазин, прометрин; 4 – атратон, симетрин, атразин, прометрин; 5 – атратон, симетрин, атразин, промазин; 6 – атратон, симетрин, промазин; 7 – симазин, атразин, промазин; 8 – атратон, прометон, прометрин.

**Особливості хімічного забруднення ґрунтів:** 1) в ґрунтах, в порівнянні з водою і повітрям, утруднений винос забруднюючих речовин за межі зони забруднення; 2) утруднено біологічне руйнування забруднюючих речовин, якщо вони зв'язуються з ґрунтовими частинками.

## **8. Забруднення ґрунтів важкими металами.**

Інтенсивна господарська діяльність людини призводить до суттєвого забруднення навколишнього середовища важкими металами, які потрапляють в повітря, поверхневі води, ґрунти разом з викидами вихлопних газів автомобілів, газоповітряних сумішей підприємств хімічної та металургійної промисловості, паливно-енергетичних комплексів та інш. Важкі метали і їх органометалічні похідні є високотоксичними речовинами, які в клітинах живих організмів конкурують за сайти зв'язування з мікроелементами ферментних комплексів, порушуючи роботу клітин. До 80% важких металів, які потрапляють на поверхню ґрунту, зв'язуються рослинами, 20% - залишається в ґрунті, формуючі комплекси з органічними та

мінеральними частинками ґрунту. Накопичення важких металів ґрунтовим комплексом поглинання є частково зворотнім (обмінним), за умов адсорбції токсинів на мінеральних частинках ґрунту або на периферії гумусних молекул. Крім того, частина необмінно зв'язаних важких металів – зазвичай, це метали, зв'язані з ядром гумусної молекули - за певних умов може переходити в обмінний комплекс і, таким чином, становитись доступною для живлення рослин. Умовами, які змінюють рухливість важких металів в ґрунтах, є: випадіння кислотних дощів, внесення в ґрунт надлишкової кількості мінеральних добрив, забруднення поверхневих дощових вод або вод зрошення агресивними хімічними речовинами, тощо.

З гігієнічних позицій небезпечність забруднення ландшафту визначається рівнем можливого негативного впливу цього забруднення на середовище і безпосередньо на людину. Основним критерієм гігієнічної оцінки небезпечності забруднення є гранично допустимі концентрації хімічних речовин в компонентах ландшафту (ГДК). Цей показник оцінюється кількісно. Для оцінки небезпечності забруднення для здоров'я населення використовується коефіцієнт екологічної небезпечності елемента (Кен), що визначається відношенням вмісту речовини в компоненті до його ГДК:  $K_{en} = C_i / ГДК$ .

В нормі, показник Кен не повинен перевищувати одиницю. За умови присутності в ґрунті декількох забруднюючих речовин з подібним механізмом токсичної дії – сума значень показників Кен для кожної такої речовини в нормі не має перевищувати одиниці (за Гуцуляк, 2002):  $K_{en1} + K_{en2} + K_{en3} + \dots + \leq 1$ .

Переважає більшість українських та іноземних дослідників при вивченні забруднення ґрунтів важкими металами орієнтуються на ГДК для валових форм цих елементів. Проте, як засвідчують останні відомості, для практичних досліджень більш значима орієнтація лише на ГДК рухомих форм. Саме у рухомій формі важкі метали зумовлюють їх негативну дію на біоту в цілому та на людину зокрема, що і є предметом нормування.

Важкі метали у ґрунті можуть перебувати в різних за ступенем рухомості формах: у вигляді комплексних сполук з органічними та неорганічними лігандами, у складі первинних та вторинних мінералів, адсорбованими на ґрунтових колоїдах, у складі солей різного рівня розчинності, у ґрунтовому розчинні у вигляді іонів. За ступенем рухомості всі сполуки металів у ґрунті умовно можна поділити на нерухомі, потенційно рухомі та рухомі форми. Для одержання рухомих форм металів застосовують водну витяжку ґрунту. Для вилучення потенційно рухомих форм важких металів із ґрунтів в переважній більшості користуються екстрагентами – мінеральними кислотами різної нормальності, ацетатно-амонійним буфером. Доведено, що між вмістом рухомих форм важких металів, що вилучаються ацетатно-аміачним буфером та показниками біологічної активності ґрунту спостерігається тісний корелятивний зв'язок -  $r$  коливається від -0,78 до -0,98. Тому при оцінці вмісту потенційно рухомих форм металів потрібно надавати перевагу саме цьому екстрагенту. Для визначення валового вмісту металів у ґрунті проводять попереднє його озолення мокрим спалюванням. Для кожного з досліджуваних важких металів необхідно визначити перевищення його ГДК (Руденко и др., 2003).

Розрахунок коефіцієнта потенційної екологічної небезпеки присутності кожного мікроелемента в ґрунтах проводять за формулою:

$$K_{en}(заг) = \frac{C_i(заг)}{ГДК_i(заг)}$$

Де:  $K_{en}(заг)$  – коефіцієнт екологічної небезпеки  $i$ -го мікроелементу;  $C_i(заг)$  – вміст  $i$ -го мікроелементу в об'єкті, який досліджується (ґрунти);  $ГДК_i(заг)$  – гранично допустима концентрація  $i$ -го мікроелементу в ґрунтах.

Висновок про потенційну екологічну небезпеку загального вмісту мікроелементів з подібним механізмом токсичної дії в ґрунтах певної території робиться на підставі аналізу значень сумарного показника коефіцієнта екологічної небезпеки по означеним

мікроелементам. В нормі сума коефіцієнтів екологічної небезпеки загального вмісту мікроелементів з подібним механізмом токсичної дії в ґрунті не повинна перевищувати одиниці, т.т., в нормі:  $C_i/\Gamma ДК_i + C_j/\Gamma ДК_j + \dots + C_k/\Gamma ДК_k \leq 1$ .

Розрахунок коефіцієнта актуальної екологічної небезпеки присутності рухливих форм кожного мікроелементу в ґрунтах проводять за формулою:

$$K_{en}(\text{рухл}) = \frac{C_i(\text{рухл})}{\Gamma ДК_i(\text{рухл})}$$

Де:  $K_{en}(\text{рухл})$  – коефіцієнт екологічної небезпеки рухливих форм  $i$ -го мікроелемента;  $C_i(\text{рухл})$  – вміст рухливих форм  $i$ -го мікроелемента в ґрунтах, які досліджувались;  $\Gamma ДК_i(\text{рухл})$  – гранично допустима концентрація рухливих форм  $i$ -го мікроелемента в ґрунтах.

Висновок про актуальну екологічну небезпеку вмісту рухливих форм мікроелементів в ґрунтах регіона дослідження робиться на підставі аналізу значень сумарного показника коефіцієнта екологічної небезпеки по усім рухливим формам мікроелементів з подібним механізмом токсичної дії. В нормі сума коефіцієнтів екологічної небезпеки рухливих форм означених мікроелементів в ґрунтах не повинна перевищувати одиницю, т.т., в нормі:  $C_i/\Gamma ДК_i + C_j/\Gamma ДК_j + \dots + C_k/\Gamma ДК_k \leq 1$ .

Визначення рівня антропогенного забруднення ґрунтів. З метою визначення рівня антропогенного забруднення ґрунтів порівняно з природним фоновим вмістом хімічних елементів проводять:

а) розрахунок коефіцієнту концентрації хімічного елементу в ґрунті:

$$K_{ci} = \frac{C_i}{C_{\phi}}$$

де  $K_{ci}$  – коефіцієнт концентрації  $i$ -го хімічного елементу;  $C_i$  – вміст хімічного елементу в ґрунті, який досліджується;  $C_{\phi}$  – природний фон (природна концентрація)  $i$ -го хімічного елементу.

б) розрахунок сумарного показника антропогенного забруднення ґрунтів:

$$Z_c = (\sum K_{ci}) - (n-1)$$

де:  $Z_c$  – сумарний показник забрудненості природного компонента (в даному випадку - ґрунта);  $K_{ci}$  – коефіцієнт концентрації  $i$ -го хімічного елементу;  $n$  – загальна кількість хімічних елементів, які враховувались в даному дослідженні.

Рівень антропогенного забруднення ґрунту за сумарним показником забруднення: при значеннях  $Z_c$  менше, ніж 16 – рівень забруднення слабкий;  $Z_c = 16 - 32$  - середнє забруднення;  $Z_c = 32 - 128$  – високий рівень забруднення;  $Z_c$  більше, ніж 128 - дуже високий рівень техногенного забруднення ґрунту (за «Геохимия...», 1990»).

## **9. Радіоактивне забруднення ґрунтів.**

В наслідок аварії на Чорнобильській АЕС в навколишнє середовище потрапила значна кількість радіоактивних речовин. За даними Госкомгідромету (Постанова Верховної Ради, 1997), колективна доза опромінення населення в басейні р. Дніпра після аварії за рахунок водного фактору зросла на 3-13%. На території басейнів Прип'яті і Дніпра зосереджено біля 450 тис. кюрі цезію-137 і майже 70 тис. кюрі стронцію-90. Потенційне надходження радіонуклідів з забруднених територій за рахунок поверхневого змиву за рік може становити 1-2% відсотки для стронцію-90 та 0,1-0,3% – для цезію-137. Хоча в 1994 році спостерігалось зменшення концентрації ізотопів в водосховищах в 100 разів порівняно з 1986 роком, проте вона в 35 разів перевищує рівень, який передував катастрофі.

Водосховища каскаду є своєрідним накопичувачем радіоактивних речовин. Концентрація цезію-137 від Київського до Каховського водосховища зменшується на два порядки, стронцію-90 – майже удвічі. Від загальної кількості стронцію, який надходить в

Київське водосховище, 23% залишається в Київському, а 27% – проникає в Кременчуцьке, 11% – в Канівське водосховище. Накопичення радіонуклідів та інших забруднюючих речовин переважно в донних відкладах створює передумови для тривалого їх перерозподілу через стік усіх водосховищ Дніпровського каскаду. За заключенням Національної академії наук, Госкомгідрології та Госкомгідромету, прискорене переміщення радіонуклідів в басейні Дніпра в напрямку Каховського водосховища і Чорного моря може відбутись під час розливу високої водності забезпеченістю 10% і менше відсотків [Постанова Верх..., 1997]. До росту надходжень радіонуклідів в атмосферу може призвести їх вітро-пиловий підйом з наступним розповсюдженням радіоактивного забруднення на прилеглі території. Надходження радіонуклідів в ґрунти з атмосфери або з поверхневими водами (зокрема, з водами зрошення) призводить до їх тривалого затримання на ґрунтових геохімічних бар'єрах. Ґрунтовий вбирний комплекс, як правило, необмінно поглинає радіонукліди. Це, з одного боку, робить радіонукліди відносно недосяжними для кореневого живлення рослин, з іншого – унеможливорює вимивання небезпечних речовин вниз по ґрунтовому профілю що, як наслідок, призводить до довготривалого опромінення організмів на навколишніх територіях.

#### **10. Забруднення ґрунтів органічними речовинами. Пестициди.**

Використання сучасних пестицидів різних типів (гербіцидів, інсектицидів, фунгіцидів, антигельмінтозних препаратів, бактерицидів та інш.) дозволяє високоселективно боротись з бур'янами, комахами, грибами, бактеріями та вірусами, які пошкоджують значні площі сільськогосподарських угідь. Проте, кожний пестицид, окрім селективної токсичності для певної групи живих організмів, спроможний викликати явище неспецифічної кумулятивної токсичності у інших організмів. Показано накопичення пестицидів в геометричній прогресії в ланцюгах живлення організмів, нечутливих до гострої токсичної дії цих сполук. Кумулятивний ефект для організмів, які знаходяться на вищих рівнях трофічної піраміди, проявляється в порушенні поведінки, в гормональних розладах, в аномаліях роботи імунної та репродуктивної систем, в активації канцерогенних та тератогенних процесів.

Дослідження показали, що у районах з інтенсивним застосуванням пестицидів відбувається зміна чисельності та видового складу комах, птахів, ссавців, особливо мешканців ґрунту. Вже зараз відомо понад 800 видів комах, нечутливих до дії пестицидів. Лише 1-3% фунгіцидів та інсектицидів досягають мети, 5-40% гербіцидів знищують бур'яни, остальна кількість пестицидів потрапляє в навколишнє середовище: воду, повітря, ґрунти, в інші живі організми, тощо (Шикуча, Гнатенко, 2001).

Ряд особливо небезпечних пестицидів заборонено для виробництва і використання на території України. Проте, в ряді господарств такі пестициди й досі використовуються. Крім того, на сьогоднішній день невідомі наслідки довготривалого використання пестицидів нового покоління, дозволених в Україні. Формально, ці препарати вважаються нешкідливими для організму людини, проте наслідки їх застосування ми будемо мати змогу оцінити лише у майбутньому.

В ґрунтах пестициди переважно зв'язуються з органічними гумусними частинками ґрунту і таким чином, тимчасово, поповнюють необмінний фонд ґрунтового комплексу поглинання. Такі пестициди є тимчасово недосяжними для кореневого живлення рослин. Проте, вони також стають недосяжними і для мікроорганізмів - деструкторів цих речовин. Крім того, деякі пестициди зберігають свою токсичну дію навіть після необмінного зв'язування з гумусними частками ґрунту. Деякі пестициди здатні до міграції в природному середовищі: з ґрунту вони потрапляють у води поверхневого та підґрунтового стоку, донні відклади водойм, атмосферу, а через продукти рослинного і тваринного походження – в організм людини.

В цілому по Україні у 1986-1987 рр., коли постачання агрохімікатів було максимальним, пестицидне навантаження становило 5,5 кг/га. До 1991 р. цей показник зменшився до 2,8, в 1995 р. – до 1,1 кг/га. Одночасно відбуваються якісні зміни пестицидів, що постачаються господарствам. Зокрема, у період 1987–1990 рр., зменшилася частка хлорорганічних сполук, зросло використання фосфорорганічних сполук і гербіцидів.



Зменшення використання пестицидів пов'язане з економічною кризою та відсутністю достатніх коштів у господарств.

### **11. Типи органічних забруднюючих речовин в ґрунтах.**

В ґрунти можуть потрапляти такі типи органічних забруднюючих речовин: а) пестициди (інсектициди, фунгіциди, бактерициди, гербіциди, антигельмінтні препарати і т.н.); б) викиди підприємств і автотранспорту (в мастильних маслах двигунів знаходяться поліхлорбіфеніли, до складу бензину входить тетраетилсвинець - антидетонатор і т.н.); в) токсини ґрунтових грибів і бактерій (сільськогосподарська продукція, забруднена цими токсинами, є небезпечною для вживання).

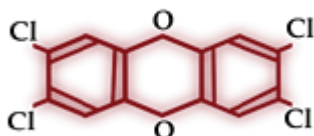
Глибина проникнення органічних токсичних речовин в ґрунти залежить: від розчинності токсину в воді (при розчинності речовини у воді більше 10 мг/л - речовина мігрує з підземними водами, а менше 10 мг/л - речовина знаходиться у вигляді суспензії і може осідати в ґрунтовому горизонті); від кількості опадів на даній території; від розмірів ґрунтових частинок і від кількості гумусу в ґрунтах (ці два фактори впливають на інтенсивність сорбції органічних забруднюючих речовин на частинках ґрунтових колоїдів; внаслідок сорбції - міграція речовини в ґрунтовому горизонті зупиняється і при цьому зберігається її токсичність для ґрунтових організмів); від хімічної структури забруднюючої речовини; від періоду напіврозпаду токсину в ґрунтах (може варіювати від декількох діб до 20 років і більше і залежить від хімічної структури речовини і умов навколишнього середовища: температури, доступу води, кисню, наявності мікроорганізмів, здатних розкласти ці речовини і т.н.). Наприклад, дослідження показали, що дуст (ДДТ) за 20 років мігрує на 70 см по ґрунтовому профілю.

### **12. Небезпека присутності органічних забруднюючих речовин в ґрунтах.**

Органічні забруднюючі речовини з ґрунту потрапляють в клітини коренів рослин та інших ґрунтових організмів і можуть накопичуватися в них (наприклад, ДДТ) або руйнуватися в клітинах з утворенням вторинних продуктів (часто - ще більш отруйних, ніж вихідні забруднюючі речовини).

\*NB! Наприклад, проведені дослідження показали, що в трофічних ланцюгах відбувається інтенсивне накопичення такого інсектициду, як дуст (ДДТ): якщо в ґрунті концентрація ДДТ становить 1 мкг/кг, то в клітинах рослиноїдних тварин, які мешкають на даній території - 800 мкг/кг, в клітинах хижаків першого порядку - 3200 мкг/кг і в клітинах хижаків другого порядку - 24000 - 42000 мкг/кг. При цьому відомо, що ДДТ є небезпечним канцерогеном.

Наприклад, діоксин (ГХДД) - речовина, яка входить до складу викидів целюлозно-паперової, металургійної та хімічної галузей промисловості. При наявності в ґрунті діоксину в концентрації 0,340 нг/кг, в тілі дощових черв'яків ця концентрація зростає до 9,01 нг/кг; а при забрудненні ґрунтів діоксином 993,6 нг/кг - в тілі черв'яків концентрація токсину збільшується до 7446,1 нг/кг. Хімічна структура діоксинів схожа на структуру власних регуляторних молекул клітини. Тому - діоксини не розпізнаються як небезпечні для клітини речовини і не руйнуються. При цьому структурна подібність з власними регуляторними молекулами клітин призводить до того, що дана речовина викликає порушення в роботі клітин.



Структурна формула діоксину (цитовано за <http://www.orgchem.ru/chem4/dioxin.htm>).

**\*Діоксини (цитовано за <http://www.orgchem.ru/chem4/dioxin.htm>)** - узагальнена назва великої групи поліхлордібензопарадіоксинів (ПХДЦ), поліхлордібензодіфуранів (ПХДФ) і поліхлордібіфенілів (ПХДФ). До родини діоксинів входять сотні хлорорганічних, броморганічних і змішаних хлорброморганічних циклічних ефірів, з яких 17 є найбільш токсичними. Діоксини - тверді безбарвні кристалічні речовини, хімічно інертні і термічно стабільні (розкладаються при нагріванні вище 750 °С).

У природному середовищі діоксини швидко поглинаються рослинами, ґрунтом і різними матеріалами, практично не змінюються під впливом фізичних, хімічних і біологічних факторів. Період напіврозпаду діоксину в природі перевищує 10 років. З ґрунтів діоксини видуються разом з органічними речовинами і вимиваються дощовими потоками, переносяться в низовини та акваторії, створюючи нові ділянки забруднення (місця скупчення дощової води, озера, донні відкладення річок, каналів, прибережні зони морів і океанів). Діоксин є універсальною клітинною отрутою і може вражати багато видів тварин і рослин. Небезпека діоксинів зумовлена їх високою стабільністю, довготривалим збереженням в навколишньому середовищі і в результаті - тривалим впливом на живі організми.

Діоксин - одна з найбільш токсичних синтетичних сполук, що діє дуже повільно. Концентрації токсичних діоксинів, що призводять в 50% випадків до смертельного результату, для різних лабораторних тварин становлять від 1 до 300 мг/кг. Ураження людини можливе при надходженні діоксинів в організм через шлунково-кишковий тракт. Діоксини вражають підшлункову залозу, легені, імунну систему. Виникають тяжкі набряки навколосерцевої сумки, черевної та грудної порожнини. Потрапляння діоксину в організм викликає ризик захворювання раком і ряд інших серйозних проблем для здоров'я. Зокрема, імовірна підвищена частота хромосомних мутацій і природженої потворності через специфічну дію діоксину на генетичний апарат статевих клітин і клітин ембріона. Діоксини володіють гострою і хронічною токсичністю, термін їх прихованої дії може бути досить великий (від 10 днів до декількох тижнів, а іноді і декількох років).

Ознаками ураження діоксинами є зниження ваги, втрата апетиту, поява вугреподібного висипу на обличчі і шиї, який не піддається лікуванню. Розвивається ураження повік. Починається сильна депресія і сонливість. Надалі ураження діоксином призводить до порушень функції нервової системи, обміну речовин, зміни складу крові. Діоксини порушують функції печінки, що супроводжується накопиченням в клітинах токсичних продуктів, порушенням обміну речовин. Специфічним захворюванням, що супроводжує отруєння діоксином, є хлоракне. Воно супроводжується зроговінням шкіри, порушенням пігментації, зміною порфіринового обміну в організмі, надлишковою волосистістю. При невеликих ураженнях локальні потемніння шкіри спостерігаються під очима і за вухами. При сильних ураженнях обличчя білої людини стає схожим на обличчя негра. Специфічні засоби профілактики та лікування відсутні.

Діоксинова проблема гостро проявилася після застосування американцями у В'єтнамі "Ейдж Оранджа" (170 кг). Генетичні наслідки цієї хімічної війни позначилися на в'єтнамських дітях і змусили світ усвідомити високу небезпеку діоксинів. Найвідоміше масове отруєння людей діоксином відбулося в 1976 році в італійському місті Севезо, коли під час вибуху на заводі в атмосферу було викинуто 20 кілограмів діоксину. Вже через кілька годин на шкірі жителів міста з'явилися червоні плями, а два місяці по тому на обличчях людей, які отримали найбільші дози речовини, з'явилися прищі - хлоракне.

У 1980-х роках діоксини були включені в розряд особливо небезпечних глобальних забруднювачів. З 1985 р в США виключена з виробництва вся продукція, що містить хлор, і є основою для утворення діоксинів. У Росії діоксинові технології застосовуються в хімічному, агрохімічному, електротехнічному виробництвах, в целюлозно-паперовій промисловості (залівка трансформаторів, гербіциди суцільної дії, пестициди, папір і багато іншої продукції, виготовленої за допомогою хлорних технологій). Особливо забруднені діоксинами міста Дзержинськ (Нижегородська обл.), Чапаєвськ (Самарська обл.), Новомосковськ (Тульська обл.), Щелково, Серпухов (Московська обл.), Новочебоксарск (Чувашія), Уфа (Башкортостан) (цитовано за <http://www.orgchem.ru/chem4/dioxin.htm>).

---

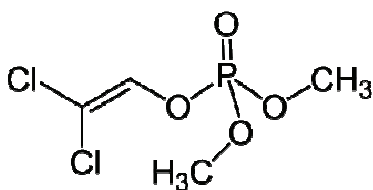
Як правило, коефіцієнт біологічного накопичення органічних забруднюючих речовин - дуже високий, оскільки ці речовини не розпізнаються як загроза для життєдіяльності клітин і, як наслідок, вони не розкладаються клітинними ферментними системами і не виводяться за межі клітин. Наприклад, надмірна кількість іонів практично всіх металів - виводиться за

межі клітин тварин за допомогою спеціальних білків-транспортів. Однак, якщо в клітину потрапляє органо-металево похідне - така речовина видаленню з клітин не підлягає.

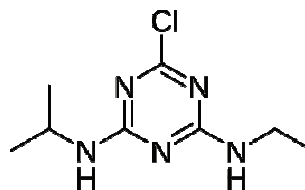
Рівень накопичення органічних забруднюючих речовин в живих організмах залежить: від типу забруднюючих речовин; від кількості забруднюючих речовин в навколишньому середовищі; від видових особливостей живих організмів.

### **13. Типи шкідливого впливу органічних забруднюючих речовин.**

Органічні забруднюючі речовини, що потрапили в клітини живих організмів, можуть здійснювати них як загальнотоксичну, так і вибірково-токсичну дію. Наприклад, інсектицид «Адмірал» вибірково блокує стадії перетворення комах (яйце - личинка - лялечка - доросла особина), оскільки мішенню дії препарату є спеціальні гормони комах. Наприклад, препарат поліоксин блокує фермент, який забезпечує утворення хітину у грибів і комах (тобто це і фунгіцид, і інсектицид, безпечний для людини, оскільки в організмі людини хітин не синтезується). Наприклад, всі бактерицидні препарати - токсичні для бактерій, але не для еукаріот, оскільки розпізнають тільки бактеріальні білки, які забезпечують синтез ДНК і РНК. Однак, мітохондрії і хлоропласти в клітинах еукаріотичних організмів - як нащадки давніх одомашнених бактерій - до них чутливі і, тому, антибактеріальні препарати часто виявляються токсичними і для еукаріотичних організмів. Наприклад, фунгіцид ацидан - захищає рослини від паразитичних грибів, що викликають борошнисту росу. Цей фунгіцид блокує синтез ДНК в клітинах грибів, але - не рослин. Наприклад, гербіцид атразин - блокує фотосинтез у рослин і не є небезпечним для людей і тварин. Наприклад, гербіцид трифлуралін - блокує збірку мікротрубочок і таким чином рост і поділ тільки рослинних клітин (оскільки не зв'язується з білками-тубулінами тварин) і т.н.



Будова молекули інсектициду дихлофосу (О,О-диметил-О-2,2-діхлорвінілфосфат, ДДВФ) (цитовано за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Будова молекули гербіциду атразину (цитовано за <https://alchetron.com/Atrazine-1784119-W>).

Як правило, селективні пестициди не є токсичними для інших організмів, і тому вони спроможні накопичуватися в їх тілі у значних кількостях. Наприклад, в клітинах людини було виявлено акумулювання гербіцидів, інсектицидів, фунгіцидів, які потрапляють в організм з водою, їжею, повітрям. Ці речовини, накопичуючись в клітинах і тканинах, можуть призводити до розвитку загальнотоксичних реакцій (тобто давати неспецифічні загальнотоксичні ефекти). Коли препарат діє вибірково (специфічно) - то достатніми є його дуже невеликі кількості для прояву токсичної дії. Тому, при тестуванні нових типів пестицидів необхідно перевіряти: а) селективність їх дії на організми-мішені і б) нетоксичність і немутагенність даних речовин для інших організмів.

### **14. Загальнотоксичні ефекти пестицидів.**

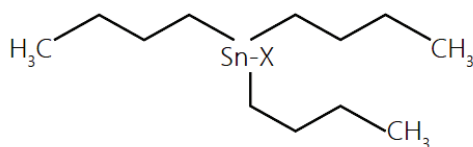
Загальнотоксичні ефекти пестицидів проявляються наступним чином:

а) цитотоксичність - надмірне накопичення в клітинах органічних забруднюючих речовин та їх метаболітів, яке викликає омертвіння тканин; наприклад, похідні ДДТ накопичуються в надниркових залозах тюленів в Балтійському морі і викликають їх омертвіння; у мишей - метаболіти ДДТ і ПХД складають в організмі до 10% від загальної концентрації вихідних компонентів. І ці метаболіти мають адренкортиколітичний ефект (тобто, вбивають не всі клітини організму - тільки спеціалізовані);

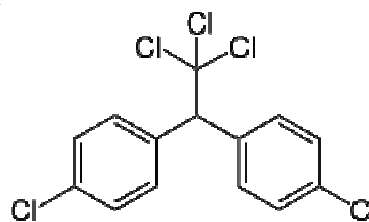
б) порушення поведінки організму (т.зв. неспецифічний наркотичний ефект) - організми в природі за наявності такого ефекту втрачають орієнтацію в просторі і інстинкт

самозбереження, часто стають жертвами хижаків або втрачають здатність добувати їжу. Цей ефект проявляється у всіх груп організмів: у бактерій, у найпростіших, у черв'яків, у хребетних тварин, тощо;

в) порушення роботи ендокринної системи – відомо, що деякі токсини поводяться як аналоги гормонів організму. Наприклад, трибутилолово (застосовують в складі фарб, що захищають днища кораблів від обрастання молюсками) - у морських равликів в зоні інтенсивного руху пароплавів викликає явище імposesекса: утворення у самок чоловічих статевих органів. Виявилось, що трибутил-олово пригнічує фермент, який відповідає за перетворення тестостерону в естрадіол, що і призводить до розвитку явища імposesекса. Наприклад, ДДТ і його метаболіти, а також поліхлорбензоли ПХБ - взаємодіють з рецепторами естрогенів (жіночих стероїдних статевих гормонів). В нормі з цими рецепторами взаємодіє естрадіол. У Бельгії і в Нідерландах самці чайок ігнорують самок, а самки - утворюють пари між собою. Причина - накопичення в тканинах чайок ДДТ і його похідних, які блокують роботу рецепторів статевих гормонів.

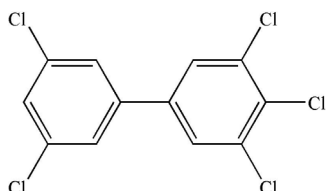


Трибутилолово (цитовано за [http://hs.befgroup.net/glossary/texts/SFA\\_02\\_TBT.pdf](http://hs.befgroup.net/glossary/texts/SFA_02_TBT.pdf)).

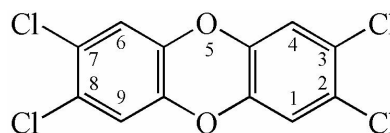


Будова молекули дусту (ДДТ) - (1,1,1-три-хлор-2,2- бис (4-хлорфеніл) етану (цитовано за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

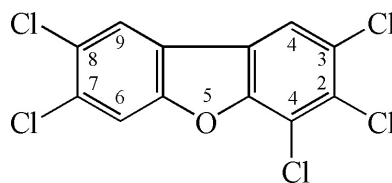
г) порушення роботи генів - молекули діоксинів, бензофуранів, поліхлорбіфенілів мають специфічну ділянку, яка зв'язується з регуляторними ділянками молекули ДНК; токсин сідає на регуляторну ділянку ДНК і змінює характер зчитування генів. Це призводить до того, що гени активуються в непотрібному місці і в непотрібний час.



Представник поліхлорбіфенілів (ПХБ) - 3,3',4,4',5-пентахлор-біфеніл (цитовано за <https://studopedia.info/6-19094.html>).



Представник діоксинів (ПХДД) - 2,3,7,8-тетрахлордібензо-п-діоксин (цитовано за <https://studopedia.info/6-19094.html>).



Представник бензофуранів (ПХДФ) - 2,3,4,7,8-пентахлордібензофуран (цитовано за <https://studopedia.info/6-19094.html>).

Наслідки порушення роботи генів, викликані органічними забруднюючими речовинами: а) тератогенний ефект (порушення програми ембріонального розвитку, що веде до появи вроджених вад у організмів); б) канцерогенний ефект (запуск неконтрольованого поділу клітин); в) імунотоксичний ефект.

Імунотоксичність мають діоксини, поліхлорбіфеніли, оловоорганічні сполуки. Імунотоксичність органічних забруднюючих речовин проявляється наступним чином:

1) при попаданні в організм інфекції - не починається імунна відповідь (зменшується кількість лімфоцитів, лейкоцитів, зменшується утворення антитіл до патогенів - в результаті збільшується сприйнятливість організму до інфекцій) (викликається діоксином, ПХБ, органічними похідними олова, альдрином, дільдрином, хлорданом, гептахлором, лінданом);

2) запускаються аутоімунні реакції (організм починає виробляти антитіла до власних клітин і тканин);

3) з'являються алергічні реакції - тобто йде неадекватна відповідь імунної системи на чужорідний антиген.

Стокгольмська конвенція 2004 р заборонила до виробництва та використання 12 стійких органічних речовин, які володіють цитотоксичністю, мутагенністю і імунотоксичністю: дев'ять пестицидів (ДДТ, альдрин, дільдрин, хлордан, гептахлор, ендрін, мірекс, токсафен, гексахлорбензол), одна речовина промислового використання (поліхлорбензол), дві речовини - побічні продукти виробничих циклів (діоксини, бензофуран).

### **15. Способи захисту ґрунтів від органічних забруднюючих речовин.**

Сьогодні особлива увага приділяється превентивним методам - т.зв. методам попередження забруднення ґрунтів органічними речовинами. До таких методів належать: а) очищення вихлопних газів підприємств і транспортних засобів; б) заборона на додавання в бензин тетраетилсвинцю (антидетонатор); в) запобігання попадання в ґрунти іонів металів (оскільки ґрунтові мікроорганізми в процесі своєї життєдіяльності здатні перетворювати метали в органометалеві похідні); г) заборона виробництва поліхлорбїфенїлів і 9 пестицидів (перелїк яких наведений в Стокгольмській конвенції 2004 р.); д) дотримання правил використання дозволених пестицидів (доза і строки внесення); е) використання пестицидів нового покоління (цї пестициди менш токсичні, мають менший перїод напїврозпаду і т.н.); ж) відмова від використання пестицидів (при цьому для запобігання зниженню врожаїв сїльсько-господарської продукції - необхідно проводити їмунїзацію рослин для вироблення у них природного їмунїтету до вірусних, бактерїальних і грибоквих захворювань, до пошкодження комахами і черв'яками і т.н.; крім того, методами генної їнженерїї отримують трансгенні рослини, стїйкі до захворювань і шкїдників сїльськогосподарських культур.

Зокрема, на сьогоднішній день вже отриманї трансгенні рослини кукурудзи - стїйкі до кореневого хробака; рослини картоплї - стїйкі до колорадського жука і до вірусу картоплї; помїдори і бавовник - стїйкі до перетинчастокрилих комах і т.н. Проте, недавнї медико-екологїчні дослідження показали потенційну небезпеку використання в їжу трансгенних продуктів (миші, яких годували трансгенною соєю - в другому поколіннї перестали розмножуватися). Тому, з точки зору потенційної безпеки для здоров'я людини - рекомендується використання лише трансгенних технїчних культур, якї не вживаються для харчування людини. Наприклад, трансгенний бавовник і льон (для пошиття одягу), трансгенна соя (для отримання палива) і т.н.

### **16. Методи очищення ґрунтів від забруднюючих речовин.**

На сьогоднішній день розроблено ряд методів, якї дозволяють видаляти забруднюючі речовини з ґрунту: 1) для адсорбції токсинів - в ґрунт вносять велику кількість органічних добрив, торфу або синтетичних сорбентів (активоване вугїлля, цеолїт, препарати гумїнових кислот і т.н.); 2) проводять глибоку оранку і промивнї поливи (це дозволяє видалити водорозчиннї форми токсичних речовин); 3) проводять фїтомелїорацію (посадка рослин, якї їнтенсивно поглинають забруднюючі речовини з подальшим захороненням даних рослин на спеціальних полігонах); 4) застосовують на полях анїдоти (речовини, якї знешкоджують токсини, що потрапили в ґрунт).

На сьогоднішній день ремедїація (вїдновлення) ґрунтів - це одна з найдорожчих технологїй. Щорїчно в США до 25 - 50 мїльярдів доларів витрачається на вїдновлення забруднених ґрунтів (оскїльки очистити ґрунт значно складнїше, нїж повітря і воду).



Термічне очищення ґрунту. Залежно від типу забруднюючих речовин нагрів може проводитися як на повітрі, так і в вакуумі - в спеціальних герметичних установках. Метод застосовується для звільнення ґрунту від нафтопродуктів, масел, бензину, від деяких кольорових металів, від галогеновмісних і органічних сполук. Вуглеводні вигорають при нагріванні матеріалу до  $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Відновити властивості ґрунту після такого впливу можна додаванням компосту або мінеральних добрив. Існують не тільки стаціонарні, а й пересувні термічні установки на автомобільному шасі. У всьому світі щорічно термічним методом очищаються мільйони тонн ґрунту (цитовано за <https://www.avtonomno.ru/articles/ochistka-pochvy-ot-zagryazneniy/>).



При хімічному очищенні ґрунту від забруднюючих речовин – ґрунт промивають спеціальними розчинами з поверхнево-активними речовинами або розчинами, що містять сильні окислювачі - активний кисень, сполуки хлору, а також лужні розчини. Вилугування здійснюється за допомогою 2% -ого розчину соляної кислоти. При вилугуванні вміст важких металів (цинк, свинець, кадмій, нікель, мідь, миш'як) знижується на 85-95% (цитовано за <https://www.avtonomno.ru/articles/ochistka-pochvy-ot-zagryazneniy/>).

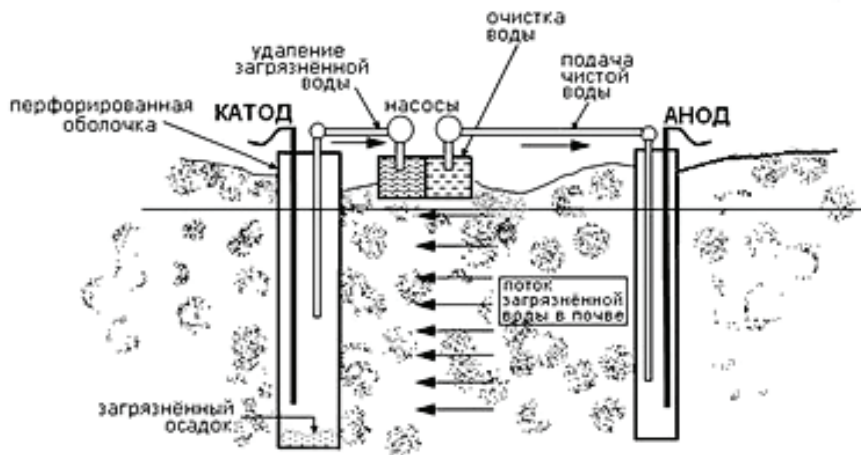
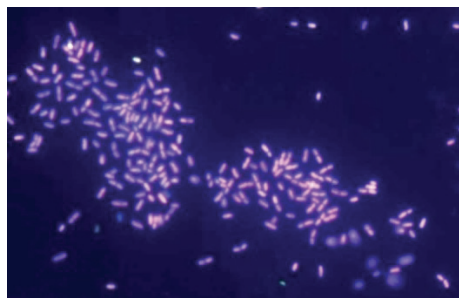


Схема електрохімічного очищення ґрунту (метод електролізу). Електрохімічний метод очищення використовується для видалення з ґрунту нафтопродуктів, фенолів і хлорвмісних вуглеводнів. В основі методу лежить ефект електролізу води при проходженні електричного струму через ґрунт. Складні забруднюючі сполуки при такому впливі активно окислюються і розпадаються на менш шкідливі прості складові. Електрохімічні методи дозволяють також очищати ґрунт від небезпечних сполук на основі свинцю, ртуті, кадмію, миш'яку і т.н. (цитовано за <https://www.avtonomno.ru/articles/ochistka-pochvy-ot-zagryazneniy/>).

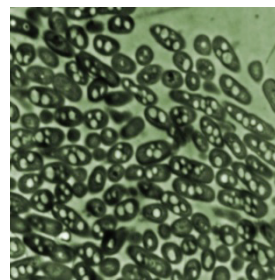
Очищення ґрунтів можливо також проводити в спеціальних біореакторах. Забруднений ґрунт завантажують в контейнер, в якому ґрунт промивають спеціальними

речовинами: а) сурфактантами (поверхнево-активними речовинами); б) окислювачами; в) вводять мікроорганізми, які здатні руйнувати органічні забруднюючі речовини; при цьому ґрунт розпушують і перемішують для забезпечення як аеробних, так і анаеробних процесів очищення.

Одним з перспективних напрямків біоремедіації ґрунтів є внесення в забруднені ґрунти мікроорганізмів, здатних вибірково руйнувати ті чи інші органічні забруднюючі речовини. На сьогоднішній день в природних екосистемах, які хронічно піддаються забрудненню тією чи іншою речовиною, знайдені мікроорганізми, здатні руйнувати ці речовини. Наприклад, виявлені бактерії, здатні руйнувати нафтопродукти; бактерії *Sphingobium chlorophenolicum* спроможні повністю мінералізувати поліхлорбіфеніли, що потрапили в ґрунт; бактерії *Cupriavidus necator* - розщеплюють 2,4,6-трихлорфенол і т.н.



Бактерії роду *Sphingobium* spp. Спроможні руйнувати в ґрунтах поліхлорбіфеніли (цитовано за <http://gas.com/blog/page/4/>).



Бактерії *Cupriavidus necator* розщеплюють 2,4,6-трихлорфенол в ґрунті (цитовано за <https://alchetron.com/Cupriavidus-necator-2309422-W>).

Економічно найбільш ефективним вважається підселення до ризосфери культурних рослин симбіотичних бактерій і грибів, здатних руйнувати органічні забруднюючі речовини, що не дозволяє цим речовинам проникати і накопичуватися в культурних рослинах. Проблема полягає в тому, що знайдені на забруднених територіях мікроорганізми - деструктори органічних забруднюючих речовин - є вільноживучими і такими, що не вступають в симбіотичні відносини з корінням рослин. Сьогодні методами генної інженерії намагаються перенести гени, що забезпечують детоксикацію конкретних органічних забруднюючих речовин, з генома вільноживучих мікроорганізмів в геном ризосферних бактерій і грибів.

При необхідності очищення ґрунтового покриву від металів - до ризосфери сільськогосподарських рослин вводять ризобактерій, здатних переводити важкі метали в малорухомі нерозчинні сполуки за рахунок виділення в навколишнє середовище спеціальних хелатуючих речовин, речовин-окислювачів, речовин-відновників і т.н. Переведення металів в нерозчинні сполуки перешкоджає їх проникненню і накопиченню в клітинах рослин.

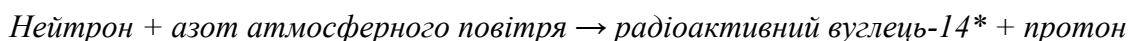
### **17. Створення штучних ґрунтів.**

Штучні ґрунти - це синтетичні пористі мікрокульки з високою обмінною ємністю поглинання. Однак, після декількох років культивування на таких штучних ґрунтах - рослини починають хворіти і гинуть, тому що в цих штучних ґрунтах накопичуються токсичні продукти обміну речовин. Ґрунт - це мікрокосм, що складається з безлічі видів взаємодіючих організмів. У штучних ґрунтах на сьогоднішній день не вдалося створити оптимальний баланс живих організмів, який би забезпечив тривале функціонування даних ґрунтів.

### **18. Тривалість відновлення ґрунтового покриву після його порушення.**

Встановлення віку ґрунтів проводять радіовуглецевим методом (за основу беруть вік ґрунтоутворюючої материнської породи). У природі знайдені наступні ізотопи вуглецю: 99% -  $^{12}\text{C}$ ; 1% -  $^{13}\text{C}$ ; 0,000 000 0001% -  $^{14}\text{C}$ \* (радіоактивний вуглець). Радіоактивні ізотопи

вуглецю-14\* мають період напіврозпаду  $5730 \pm 40$  років і утворюються у верхніх шарах атмосфери за рахунок бомбардування атомів атмосферного азоту нейтронами космічного випромінювання:

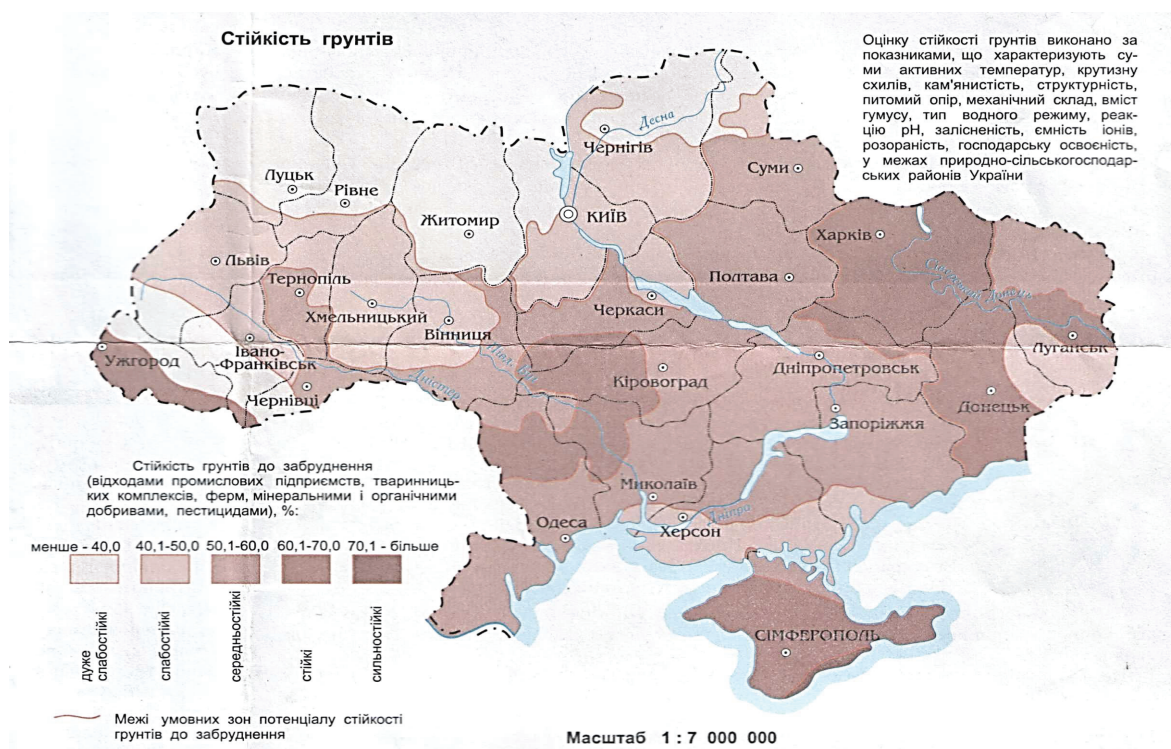


В атмосфері радіоактивні ізотопи вуглецю з'єднуються з киснем повітря і вже у вигляді вуглекислого газу потрапляють в воду, ґрунти, в рослини. Згодом радіоактивні ізотопи вуглецю розпадаються. Чим старше гірська порода - тим менше радіоактивних ізотопів вуглецю-14\* вона містить (вік датується до 60 000 років тому). За розробку в 1949 р цього методу датування - професор Willard Libby в 1960 р отримав Нобелівську премію з хімії.

Метод радіовуглецевого датування дозволив встановити час формування окремих ґрунтових горизонтів ґрунтового профілю. Наприклад, проведені дослідження показали, що підзолисті ґрунти віком 10 000 років на території Кольського півострова сформувалися на підстелюючій материнській породі приблизно всього за 150 років (з потужністю ґрунтового профілю 35 см). Потім відбувалася тільки більш чітка диференціація геогоризонтів і збільшення потужності ґрунтового горизонту (з 35 см до 60 см через 2300 років після початку формування ґрунтів на материнській породі). Причому в інтервалі 2300 років - 10 000 років потужність ґрунтового горизонту не змінилася (60 см). Таким чином, відновлення ґрунтового покриву після його деградації відбувається всього за 100 - 200 років, а не за тисячі років, як вважалося раніше.

### **19. Потенціал стійкості ґрунтів. Аналіз потенціалу стійкості ґрунтів України до забруднення.**

Стійкість ґрунтів – це їх здатність зберігати нормальне функціонування і структуру незалежно від різноманітних фізичних, хімічних та біологічних впливів. Спроможність ґрунтів до саморегуляції залежить від багатьох чинників. Важливими серед них є: крутизна схилів, кам'янистість, питомий опір, структурність, механічний склад, тип водного режиму, вміст гумусу, кислотність ґрунтів, залісненість території, ємність поглинання, інтенсивність біогенного колообігу, господарська освоєність земель, тощо.



Карта потенціалу стійкості ґрунтів України до забруднення (Барановський, Шищенко, 2002).



Ранжування названих показників за їх інтенсивністю, або вираженістю дозволило науковцям скласти шкалу бальної оцінки стійкості ґрунтів. Бали по кожному показнику підсумовувались за формулою:

$$C=100\Sigma c/Q,$$

де: С - оцінка стійкості земельної ділянки при техногенному впливі, %; с - бали по кожному показнику; Q - максимально можлива сума балів (у даному дослідженні 53); q - порядковий номер показника; n - кількість показників.

Отримані величини С використовувались науковцями України як показники для картографування стійкості ґрунтів до техногенного навантаження. Одиницями картографування були природно-сільськогосподарські райони, в межах яких згідно з існуючою шкалою оцінки, і було виконано аналіз і синтез вихідної інформації. Це дозволило здійснити зонування території за стійкістю ґрунтів до техногенного забруднення.

За сумою отриманих даних найбільш високий природний потенціал стійкості ґрунтів до забруднення характерний для Харківської, Донецької, Кіровоградської, Закарпатської областей України. Найменший природний потенціал стійкості ґрунтів до забруднення в Україні був виявлений для Волинської, Рівенської, Житомирської, частини Чернігівської областей, а також в Карпатському та Прикарпатському регіонах.

### **Контрольні питання:**

1. Ґрунтовий комплекс поглинання. Обмінне та необмінне поглинання іонів.
2. Екологічне значення поглинальної здатності ґрунтів.
3. Відбір проб ґрунтів для проведення аналізу.
4. Виявлення присутності важких металів в ґрунті за допомогою атомно-абсорбційного аналізу.
5. Виявлення в ґрунтах органічних забруднюючих речовин за допомогою хроматографічних методів та мас-спектрометрії.
6. Методи визначення присутності в ґрунті рухливих та нерухливих форм забруднюючих речовин.
7. Поняття про актуальну та потенційну небезпеку забруднюючих речовин, присутніх в ґрунтовому покриві.
8. Особливості міграції забруднюючих речовин вздовж ґрунтового профілю.
9. Поняття про гранично допустиму концентрацію забруднюючої речовини в ґрунті.
10. Основні кількісні показники оцінки рівня забруднення ґрунтового покриву.
11. Відновлення деградованих ґрунтів: хімічна, механічна та біологічна ремедіація ґрунтів.
12. Штучні ґрунти.
13. Потенціал стійкості ґрунтів. Аналіз потенціалу стійкості ґрунтів України до забруднення.

### **Література:**

1. Алексеенко В. А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1990. 142 с.
2. Барановський В.А., Шищенко П.Г. Стійкість природного середовища. – К.: 2002. – 35 с.
3. Бондарев А.Г., Кузнецова И.В., Тихонравова П.И., Уткаева В.Ф. Научные основы оптимизации физических условий плодородия почв и повышения их устойчивости к деградации // Совр. проблемы почвоведения: Науч. труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. – М., 2000. – С. 408–422.
4. Важенин И. Г. О разработке ПДК химических веществ в почве // Бюл. почв. ин-та им. В. В. Докучаева. - 1983. Вып. 35. - С. 3-6.
5. Васильевская В. Д., Шибаева И. И. Опыт составления почвенно-геохимической карты речного бассейна // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. - 1990. № 4. - С. 3. 11.
6. Волокитин М.П., Хан К.Ю., Золотарева Г.Н. и др. Эколого-агрофизическая оценка деградации почв // Физика почв и проблемы экологии: Тез. докл. Пушкино, 1992. – С. 15–16.
7. Глазовская М.А. Критерии классификации почв по опасности загрязнения свинцом // Почвоведение. - 1994. № 4. - С. 110-120.
8. Глазовская М.А. Принципы классификации почв по опасности их загрязнения тяжелыми металлами // Биологические науки. – 1989. – № 9.
9. Гродзинський М.Д., Савицька О.В. Ландшафтознавство. ВЦП «Київський університет». Київ. 2008
10. Гуцуляк В.М. Ландшафтознавство: теорія і практика. «Книги – ХХІ». Чернівці. 2008.

11. Гуцуляк Ю. Еколого-ландшафтна та економічна екологія земель в Україні. «Прут». Чернівці. 2009.
12. Деградация и охрана почв / Под общ. ред. акад. РАН Г.В. Добровольского. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 2002. – 654 с.
13. Доповідь про стан навколишнього природного середовища Херсонської області за 2007 рік // Матеріали Державного управління охорони навколишнього природного середовища в Херсонській області. – Херсон. 2008. – 153 с.
14. До питання оцінки рівнів небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами / А. І. Фатєєв, М. М. Мірошніченко, В. Л. Самохвалова, Т. Ю. Биндич // Вісник аграрної науки. - 1999. № 10. - С. 24-32.
15. Єгорова Т.М. Ландшафтна екологія України. Підручник. Міністерство освіти і науки України. Європейський університет. Кам'янець-Подільський. 2009.
16. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва - растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
17. Кузнецова И.В., Бондарев А.Г., Данилова В.И. Устойчивость структурного состояния и сложения почв при уплотнении // Почвоведение – 2002. – № 9 – С. 1106–1113.
18. Макаренко Н.А. Контроль за вмістом важких металів у ґрунті // Вісник аграрної науки. – 2001. – № 4. – С. 55-57.
19. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция, предварительные результаты, задачи. – Харьков: ПФ “Антиква”, 2002. – С. 428.
20. Медведев В.В., Хоролец И. А. Теоретические аспекты и количественная оценка экологической устойчивости почв // Вісник аграрної науки. - 1999. № 10. - С. 14-20.
21. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. С.М. Рижука, М.В. Лісового, Д.М. Бенцаровського. – К., 2003. – С. 64.
22. Методика суцільного ґрунтово-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / За ред. акад. О.О. Созінова і Б.С. Прістера. – К.: МСГ і П, 1994. – С. 162.
23. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства: 2 изд-е. М.: ЦИНАО, 1992. – С. 62.
24. Перельман А. И. Геохимия ландшафта и учение о биогеохимических провинциях // Вестник МГУ. Сер. География. - 1998. № 3. С. 3-7.
25. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Основи загальної екології: практичний курс. 2003 р. Чернівці. Видавництво: Рута Мова. – 320 с.
26. Троїцький М.О., Печена Г.В., Протченко Н.М. Просторовий аналіз регіональних особливостей розподілу забруднювачів у ґрунтах степової зони.
27. Фатєєв А.І., Мірошніченко М.М., Самохвалова В.Л., Биндич Т.Ю. До питання оцінки рівнів небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами // Вісник аграрної науки. – 1999. – № 10. – С. 39-62.
28. Фрид А. С. Методология оценки устойчивости почв к деградации // Почвоведение. - 1999. № 3. - С. 399-404.
29. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию / В. В. Снакин, И. О. Алябина, П. П. Кречетов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1995. № 5. - С. 50-57.
30. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саєт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. - М.: Недра, 1990. - 335 с.

**Тема: Біологічне забруднення ґрунтів і сільськогосподарської продукції**

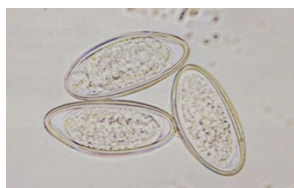
**1. Біологічна небезпека, пов'язана з ґрунтовим покривом.**

У ґрунтах можуть знаходитися яйця глистів, спори патогенних грибів і бактерій, а також спори сапрофітних бактерій і непатогенних для тварин грибів, які виділяють токсини для захисту своєї кормової бази. Попадання яєць гельмінтів в травний тракт людини і тварин призводить до розвитку в організмі паразитичних черв'яків, які виснажують і отруюють організм продуктами своєї життєдіяльності. Патогенні бактерії при попаданні в організм тварини і людини призводять до розвитку важких, часто - смертельних захворювань: так, потрапляння в організм з їжею ентеропатогенної геморагічної кишкової палички - провокує кривавий пронос і гостру ниркову недостатність. Сапрофітні бактерії - виділяють смертельно-небезпечні токсини для захисту своєї кормової бази. Наприклад, токсин сапрофітної ботулінової бактерії викликає зупинку дихання і роботи серця. Багато грибів, що паразитують на рослинах, також виділяють токсини для захисту своєї кормової бази. Так, вживання сільсько-господарської продукції, забрудненої афлатоксинами грибів - аспергілів, призводить до ураження печінки і нирок і т.н.

**2. Методи виявлення гельмінтного, бактеріального і грибового зараження ґрунтів.**

А) Виявлення забруднення ґрунтів яйцями гельмінтів. Санітарно-показовим для стану ґрунтів є присутність в них яєць аскарид, власголава і анкілостоми. Для районів, де рідко зустрічаються геогельмінтози, показниками фекального забруднення ґрунтів можуть бути онкосфери тенеїд, яйця широкого лентеца і т.н. Вживання яєць гельмінтів в ґрунтах залежить від глибини їх знаходження. Тому зазвичай проби відбирають з двох горизонтів - з поверхні і з глибини 1-3 см. Якщо це городи і поля зрошення - то проби беруть також з глибини 20 см.

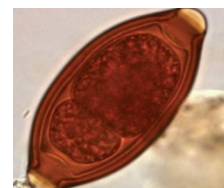
Метод виявлення яєць гельмінтів: зразок ґрунту промивають насиченим розчином солі (розчином з великою щільністю). У цих умовах яйця глистів спливають на поверхню (зразок ґрунту центрифугують з розчином нітрату натрію). Потім до кожної пробірки піпеткою додають насичений розчин нітриту натрію - для отримання над колбою опуклого меніска. Після цього пробірки накривають знежиреним предметним склом. При цьому поступово спливаючі яйця гельмінтів прилипають до нижньої поверхні скла. Через 20 хв скло знімають і досліджують під мікроскопом.



Яйця гостриків під мікроскопом (за <http://bezparazita.ru/kak-vyglyadyat-yajtsa-glistov/>).



Яйця широкого лентеца під мікроскопом (за <http://bezparazita.ru/kak-vyglyadyat-yajtsa-glistov/>).



Яйце власголава під мікроскопом (за <http://bezparazita.ru/kak-vyglyadyat-yajtsa-glistov/>).

Легко ідентифікуються яйця аскарид і волосоголовців, а також яйця гельмінтів з прозорою безбарвною шкаралупою (анкілостоми, тріхостронгіліди, гострики). Важливо не просто порахувати кількість яєць - важливо визначити їх життєздатність, тому що значне число яєць гине в ґрунті. Життєздатність яєць гельмінтів легко встановлюється під мікроскопом за їх зовнішнім виглядом. Ознаками мертвого яйця гельмінта є: розрив

оболонки яйця, прогин оболонки всередину яйця, порожні оболонки, каламутна або вакуолізована плазма зародка і т.н. Можна також провести культивування яєць на поживних середовищах для відповіді на питання про їх життєздатність.

Б) Встановлення бактеріального і грибного забруднення ґрунтів. Пробу ґрунту збовтують з водою і роблять ряд розведень 1:10, 1: 100, 1: 1000, 1: 10 000. Потім проводять посів на поживні середовища. При наявності забруднення ґрунтів спорами бактерій і грибів - після періоду інкубації на поживних середовищах з'являються відповідні колонії. Якщо попередньо в поживне середовище додати антибіотики проти бактерій - то на середовищі проростуть тільки спори грибів, а якщо додати фунгіциди - то виростуть тільки колонії бактерій.

При посівах на виявлення зараження ґрунтів бактеріями: 1) на чашках Петрі підраховують загальну кількість сапрофітних бактерій, які вирости (мікробне число); 2) встановлюють кількість бактерій кишкової палички (показник коли-титр).

Мікробне число (N) - кількість клітин бактерій в 1 грамі сухого ґрунту.

$$N = \frac{n \cdot a \cdot 100}{100 - p}$$

Де: N - кількість клітин бактерій в 1 грамі сухого ґрунту; a - ступінь розведення проби; n - кількість колоній, що вирости на чашці Петрі; p - вологість досліджуваного ґрунту.

### 3. Ґрунтові бактерії, небезпечні для життя людини і тварин.

В ґрунтах мешкають сапрофітні бактерії, які можуть становити небезпеку для життя і здоров'я людини. Ці бактерії виділяють в навколишнє середовище токсини для захисту своєї кормової бази від конкурентів. Але, в багатьох випадках, - токсин вбиває тварину, до організму якої він потрапив, і рештки цієї тварини стають наступною кормовою базою для означеної групи ґрунтових бактерій.

Бактерії, збудники газової гангрені. Бактерії роду клостридіум - мешкають в ґрунті і, потрапивши в забруднені землю рани, викликають газову гангрену. В організмі людини бактерії клостридії виробляють екзо- і ендотоксини. Вже через 6 годин після зараження починається тахікардія і лихоманка. Тканини гниють з утворенням бульбашок газу. Для порятунку життя людини доводиться проводити ампутацію пошкодженої частини тіла.

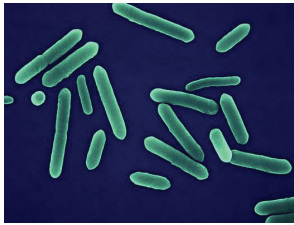


Бактерії *Clostridium perfringens*, які викликають газову гангрену (за [http://byaki.net/eto\\_interesno/54272-25-samyh-neobychnyh-i-opasnyh-parazitov.html](http://byaki.net/eto_interesno/54272-25-samyh-neobychnyh-i-opasnyh-parazitov.html)).

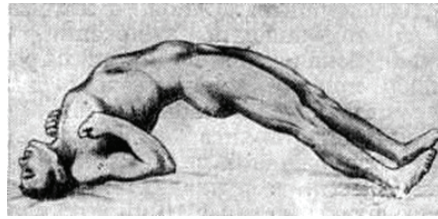


Газова гангrena (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Бактерії, збудники правця. Бактерії *Clostridium tetani* потрапляючи з ґрунту в ранку на тілі людини виробляють правцеві токсини - тетаноспазмін, що володіє нейротоксичними властивостями, і тетанолізін, що володіє геомолітичними властивостями. Тетаноспазмін діє на периферичну нервову систему, викликаючи тонічні скорочення поперечної мускулатури; тетанолізін - викликає лізис еритроцитів. Тетаноспазмін нейтралізується протиправцевою сироваткою. При несвоєчасному введенні протиправцевої сироватки - людина вмирає від паралічу дихальної мускулатури.

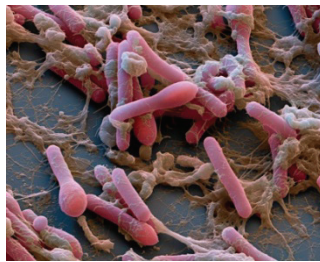


Бактерії правцевої палички *Clostridium tetani* (за <http://akak.pp.ua/6588-scho-take-pravec.html>).



Судоми поперечної мускулатури при правцевому ураженні (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

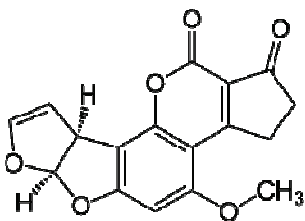
Бактерії, що викликають ботулізм. Бактерії *Clostridium botulinum* живуть в ґрунті і є збудниками ботулізму - важкої харчової інтоксикації, яка викликається ботуліновим токсином і характеризується ураженням нервової системи (цей токсин порушує передачу нервового імпульсу між клітинами нервової системи, оскільки блокує секрецію нейромедіаторних везикул). Ботулінові бактерії в організмі людини розмножуються слабо і отруту не продукують. Ботуліновий токсин накопичується в харчових продуктах, інфікованих спорами ботулінової бактерії. В анаеробних умовах (наприклад, під кришкою погано простерилізованих м'ясних консервів) - ці спори проростають і бактерії починають виділяти на м'ясопродукти токсини для захисту своєї кормової бази від конкурентів.



Бактерії *Clostridium botulinum*, які викликають ботулізм (за <https://polzablog.ru/botulizm-ne-otravitsya-gribami.html>).

#### 4. Ґрунтові гриби, які продукують отрути для захисту своєї кормової бази.

Ґрунтові гриби роду аспергілус (*Aspergillus*) виділяють в навколишнє середовище афлатоксини. Афлатоксини сідають на пуринові основи молекули ДНК, порушуючи зв'язування комплементарних пар азотистих основ в двохланцюговій молекулі ДНК. Це призводить до пригнічення реплікації і транскрипції ДНК. Афлатоксини також індукують появу мутацій в молекулах ДНК. Синтезують афлатоксини ґрунтові гриби *Aspergillus flavus* і *Aspergillus parasiticus*. Спори цих грибів проростають на зернах, насінні і плодах рослин. Найбільш сильно заражені продукти, які зберігаються в жаркому і вологому кліматі.



Хімічна структура афлатоксина В<sub>1</sub> (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Аспергіл жовтий (*Aspergillus flavus*) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



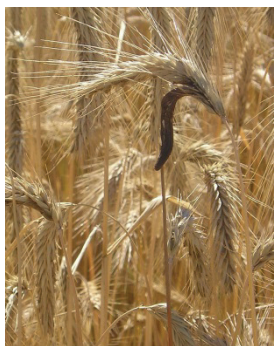
Аспергіл паразитичний (*Aspergillus parasiticus*) (за <https://yandex.fr/images/search..>).

Афлатоксини серед всіх біологічних отрут є найсильнішими гепатоканцерогенами. При отруєнні високими дозами афлатоксинів - смерть настає протягом декількох днів через незворотні ушкодження клітин печінки. Така гіпертоксичність афлатоксинів стала відомою після того, як в 1960-х роках в Британії несподівано загинули 100 тисяч індичок, внаслідок присутності в їх кормах афлатоксинів.

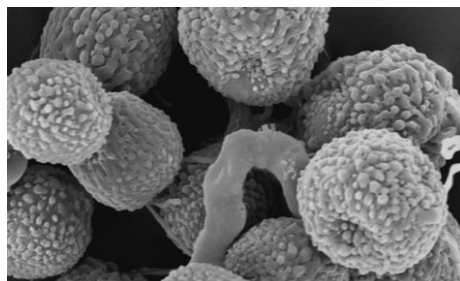
Одним з дієвих заходів боротьби з токсичними штамми грибів роду аспергіл - є підселення на поля штамів аспергілу, у яких через делецію відсутні гени, що забезпечують біосинтез афлатоксинів. При цьому конкуренція за екологічні чинники існування - призводить до 50% витіснення токсичних штамів аспергілу.

## **5. Гриби - паразити рослин, які синтезують токсини для захисту своєї кормової бази.**

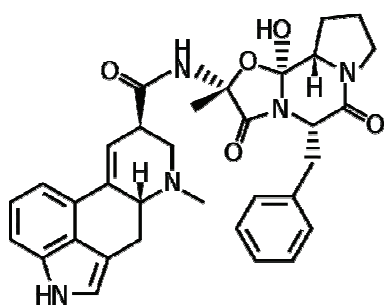
Паразитичний гриб спориння (маткові ріжки) заражує посіви злакових культур (жито, пшеницю, ячмінь, овес). При цьому для захисту своєї кормової бази гриб синтезує і виділяє в навколишнє середовище ерготоксини, які викликають отруєння та загибель людей і тварин, що використовують для їжі зерно або хліб, спечений з цього зерна.



На колосі зараженої пшениці з'являється ріжок (плодове тіло) гриба споринні (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).



Гриб спориння паразитує на злакових рослинах. При цьому для захисту своєї кормової бази від конкурентів – виділяє в навколишнє середовище ерготамін.



Токсин споринні – ерготамін. Хліб, випечений з зерна, зараженого спориннею може викликати загибель людини, оскільки ерготамін викликає смертельне захворювання «Антонів вогонь» (за [https://www.rlsnet.ru/mnn\\_index\\_id\\_1442.htm](https://www.rlsnet.ru/mnn_index_id_1442.htm)).



«Антонів вогонь» супроводжується судомами, галюцинаціями, гангrenoю кінцівок через спазм кровоносних судин (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

Головневі гриби (сажкові гриби) - паразити вищих рослин. Викликають захворювання, при яких рослини виглядають якби обвугленими або покритими сажею (звідси назва). Утворений наліт - скупчення темних мікроскопічних спор гриба. Особливо ці гриби шкодять хлібним злакам. Зараження приурочено до моменту проростання насіння або

цвітіння злаків. При обмолоті спори з хворих зерен прилипають до здорових зернівок. При посіві насіння вони потрапляють в ґрунт і проростають в гіфі, проникаючи в пагони. Під час колосіння міцелій інтенсивно розвивається, знищуючи тканини колоса і утворюючи нові спори. Гриб містить алкалоїд устілагін, тому уражені ним рослини отруйні (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

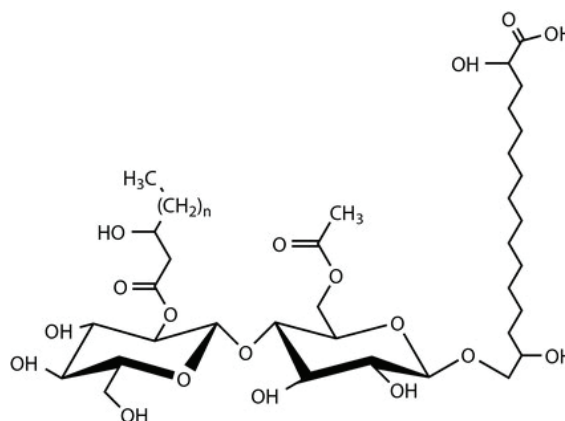


Головневий гриб *Ustilago avenae* на злакових рослинах (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Таблиця 10. Пухирчаста сажка кукурудзи (сортів) — Ustilago maydis паразитичний грибок.

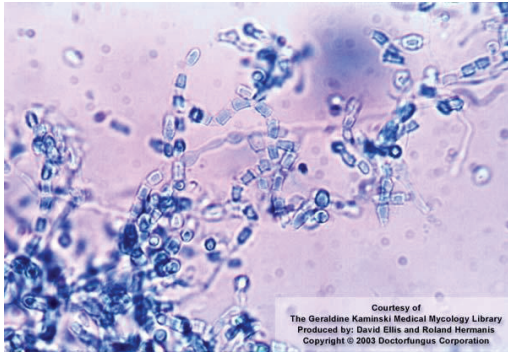
Пухирчаста сажка кукурудзи. (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).



Структурна формула устілагінової кислоти. Устілагін і устілагінова кислота - алкалоїди пухирчастої сажки кукурудзи. Механізм токсичної дії аналогічний дії токсинів ріжків (за <https://www.zagribami.info/>).

## **6. Патогенні ґрунтові гриби, що викликають розвиток захворювань (мікози) у людини і тварин.**

Ґрунтовий гриб *Coccidioides immitis* - збудник кокцідіоїдоза (грибоподібне розростання шкіри, кахексія і ін.). Цей гриб в культурі росте у вигляді пухнастих білих ватоподібних колоній. З пилом спори цього гриба розносяться по повітрю і можуть потрапити в організм людини при вдиханні, а також через пошкоджені шкірні покриви або через слизову шлунково-кишкового тракту при вживанні заражених спорами продуктів. Навіть одна спора цього гриба може викликати розвиток захворювання. Первинне зараження відбувається через легені, шкіру, слизові травної системи. У 1% хворих первинний кокцідіоїдоз протягом року переходить у вторинну септичну форму: збудник поширюється гематогенним шляхом і локалізується в будь-якому органі чи тканині. Ця форма захворювання часто закінчується смертельним результатом. Кокцідіоїдоз - захворювання ендемічне, характерне для Північної Америки (США, Мексика), Центральної і Південної Америки. Гриб живе в ґрунті напівзасушливих регіонів (на периферії пустель). Імунітет до повторного зараження - формується.

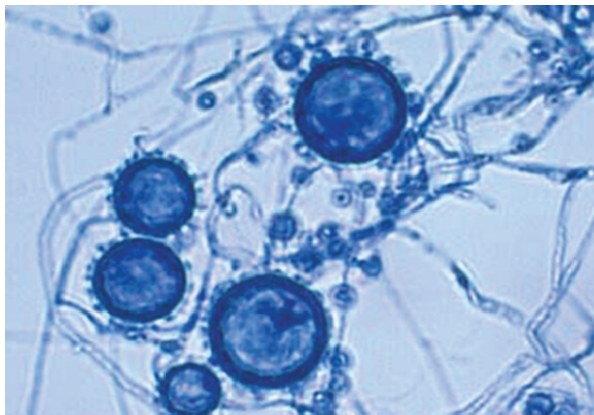


Гіфи гриба *Coccidioides immitis* (за <https://www.windowsearch-exp.com/>).

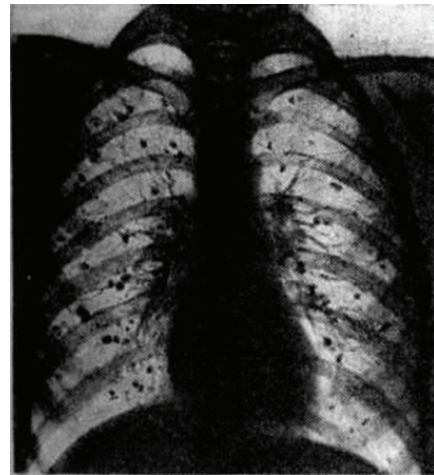


Кокцидіоз (за [http://www.krasotaimedicina.ru/diseases/zabolevaniya\\_dermatologia/coccidioidomycosis](http://www.krasotaimedicina.ru/diseases/zabolevaniya_dermatologia/coccidioidomycosis)).

Грунтовий гриб *Histoplasma capsulatum* - викликає гістоплазмоз. Спори цього гриба заражають людей і тварин через легені. Конідії цього гриба захоплюються альвеолярними макрофагами, почкуються, а потім - поширюються по всьому організму. Захворювання часто протікає безсимптомно. Гранульоматозні осередки утворюються в легенях і в селезінці. У легенях розвивається міцелій. При цьому ураження легень нагадує туберкульозні осередки. У дітей і людей похилого віку важкі форми захворювання закінчуються смертю. Хвороба зустрічається у всіх країнах. Збудник мешкає в ґрунті, в основному - забрудненому птициним послідом або випорожненнями кажанів (при цьому свіжий послід не містить цей гриб - послід просто збагачує ґрунт поживними речовинами і створює оптимальне середовище для існування гриба).



Гриб *Histoplasma capsulatum* (за <http://chay.pizzafestival.ru/histoplasma-capsulatum-foto>).


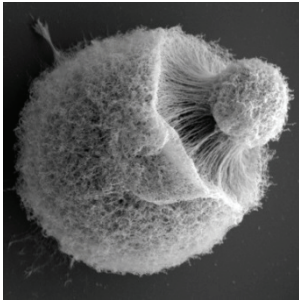
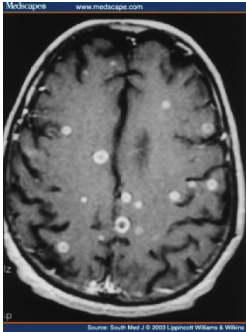


Рентгеноскопія легень людини, уражених гістоплазмозом (за <http://gk170.ru/41/gistoplazmoz-legkih-9123.html>).

Грунтовий гриб *Cryptococcus neoformans* - викликає криптококоз. Ці гриби виявлені в різних регіонах світу в ґрунтах, збагачених голубіним послідом. Зараження людей криптококами відбувається аерогенним шляхом з подальшим розвитком легеневого криптококоза. При поширенні збудника гематогенним шляхом - відбувається ураження внутрішніх органів і центральної нервової системи. За умови не лікування - захворювання закінчується смертельним результатом. Імунітет до зараження цим грибом - не формується,

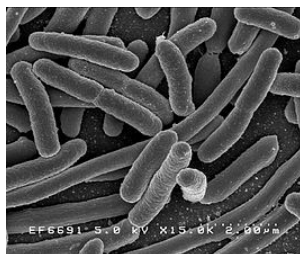


алергії - не розвиваються. Вочевидь, даний гриб здатний пригнічувати імунну систему людини.

		
<p>Колонії гриба <i>Cryptococcus neoformans</i> на поживному середовищі в чашці Петрі (за <a href="https://yandex.fr/images/search?img_url">https://yandex.fr/images/search?img_url</a>).</p>	<p>Гриб <i>Cryptococcus neoformans</i> під мікроскопом (за <a href="https://yandex.fr/images/search?img_url">https://yandex.fr/images/search?img_url</a>).</p>	<p>Ураження кріптококозом головного мозку людини (за <a href="https://yandex.fr/images/search?img_url">https://yandex.fr/images/search?img_url</a>).</p>

### **7. Патогенні бактерії, які потрапляють в ґрунт з виділеннями людини і тварин і тривалий час там зберігаються.**

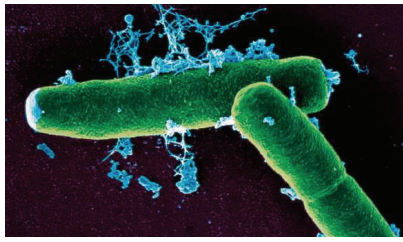
Бактерії кишкової палички (*Escherichia coli*). Наприкінці травня 2011 року в Німеччині та інших країнах Європи вибухнув огірковий скандал: велика кількість людей заразилася ентеропатогенною кишковою паличкою, яка викликала кривавий пронос, блювоту, високу температуру, відмову нирок і смерть людей (даний штам виявився стійким до антибіотиків - з 1400 хворих людей померло 15 осіб). Імовірно джерелом патогенних бактерій стали іспанські огірки, що продавалися тоді в Європі. Однак, мікробіологічний аналіз виявив на іспанських огірках звичайну кишкову паличку, а не ентеропатогенний штам *E. coli* 0104.



Бактерії кишкової палички (*Escherichia coli*) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Бактерії сибірської виразки (*Bacillus anthracis*). Ці бактерії викликають сибірську виразку у тварин і людей. Ці бактерії виділяють ендотоксин. В процесі розвитку захворювання запалення розвивається в шкірі, лімфовузлах, внутрішніх органах. Поза організмом в присутності кисню повітря ця бактерія утворює спори. Пасовища, заражені сечею і випорожненнями хворих тварин можуть тривали роки зберігати життєздатні спори бактерій сибірської виразки. Воротами для інфекції є пошкоджена шкіра. Зрідка бацила потрапляє всередину організму через дихальні шляхи і шлунково-кишковий тракт. На місці проникнення бактерії виникає карбункул з некрозом, набряком, розпочинається запалення локальних лімфовузлів. На другій стадії розвитку захворювання - збудники сибірської виразки потрапляють в кров - розвивається септична форма захворювання (токсико-інфекційний шок). В основі патогенезу захворювання лежить дія токсину, що виділяється збудником. Летальність при шкірній формі сибірської виразки становить до 20%, при

кишкочової форми - до 50% і при легеневої форми - до 95%, випадків від загальної кількості захворілих.



Бактерії сибірської виразки (*Bacillus anthracis*) (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).



Шкірна форма сибірської виразки (за <http://photosflowery.ru/sibirskaya-yazva-u-ycheloveka-foto.html>).

Бактерії сальмонели (*Salmonella*). Сальмонели живуть в кишечнику людини і тварин. У висушених екскрементах ці бактерії можуть знаходитися в життєздатному стані більше 2,5 років. Потрапляючи з ґрунту назад в травний тракт людини і тварин - ці бактерії поселяються на стінках кишечника і виділяють токсин TTSS-1, який знищує бактерій-конкурентів. При цьому гине і частина самих сальмонел. Деякі види сальмонел є збудниками черевного тифу, паратифів та інших сальмонельозів. Сальмонели поселяються в тонкому кишечнику і колонізують стінку кишки, виділяючи токсин. Дія токсину полягає у втраті води через кишечник, порушенні тонусу судин, пошкодженні нервової системи. При розгорнутих формах сальмонельозу в більшості випадків відзначаються підвищення температури, загальна слабкість, головний біль, нудота, блювота, болі в животі, багаторазовий рідкий водянистий пронос. При тяжкому перебігу хвороби спостерігаються зневоднення, збільшення печінки і селезінки. Можливий розвиток ниркової недостатності. При адекватному лікуванні сальмонельоз проходить приблизно на десятий день.

Бактерії роду шигел (*Shigella*). Ці бактерії викликають захворювання - шигельози. Найбільш відомий шигельоз - це дизентерія. Збудниками бактеріальної дизентерії є бактерії виду *Shigella dysenteriae*. Дизентерійні бактерії впроваджуються в клітини епітелію кишечника, проникають в макрофаги і викликають їх апоптоз. Дизентерійна паличка продукує ендо- та екзотоксини і здатна розмножуватися внутрішньоклітинно в макрофагах.

Бактерії, що викликають холеру (*Vibrio cholerae*). Пронос і зневоднення організму викликає не сам холерний вібріон, а холерний токсин, що ним продукується. Холерний вібріон не проникає в клітини кишечника. Він оселяється на поверхні клітин і виділяє білковий ентеротоксин, який і провокує розвиток всіх симптомів холери.



Бактерії сальмонели (*Salmonella*) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Бактерії шигели (*Shigella*) (за <http://imed.md/ostryie-kishechnyie-zabolevaniya-analiz-n.htm>).



Бактерії холерного вібріона (*Vibrio cholerae*) (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

**Контрольні питання:**

1. Біологічна небезпека, пов'язана з ґрунтовим покривом.
2. Методи виявлення гельмінтного, бактеріального і грибного зараження ґрунтів.
3. Ґрунтові бактерії, небезпечні для життя людини і тварин.
4. Ґрунтові гриби, які продукують отрути для захисту своєї кормової бази.
5. Гриби - паразити рослин, які синтезують токсини для захисту своєї кормової бази.
6. Патогенні ґрунтові гриби, що викликають розвиток захворювань (мікози) у людини і тварин.
7. Патогенні бактерії, які потрапляють в ґрунт з виділеннями людини і тварин і тривалий час там зберігаються.

**Література:**

1. Dong G.-P., Shang S.-Q., Du L.-Z., Yu X.-L., Xu Y.-P., Wu X.-J. Human herpesvirus detection and species identification with PCR-RFLP and ELISA: a comparative study // *World J. Pediatr.* – 2007. – Vol. 3, No. 2. – P. 129-133.
2. Panaccione D.G., Johnson R.D., Wang J., Young C.A., Damrongkool P., Scott B., Schardl C.L. Elimination of ergovaline from a grass-*Neotyphodium* endophyte symbiosis by genetic modification of the endophyte // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2001. – Vol. 98, N. 22 – P. 12820 - 12825.
3. Khoury A.E.I., Atoui A., Rizk T., Lteif R., Kallassy M., Lebrihi A. Differentiation between *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus* from pure culture and aflatoxin-contaminated grapes using PCR-RFLP analysis of aflR-aflJ intergenic spacer // *J. Food. Sci.* - 2011. – Vol. 76. – P. M247- M253.
4. Spadaro D., Patharajan S., Lore A., Garibaldi A., Gullino M.L. Ochratoxigenic black species of *Aspergilli* in grape fruits of northern Italy identified by an improved PCR-RFLP procedure // *Toxins.* – 2012. – Vol. 4. – P. 42 – 54.
5. Magar R., Laroche R. Evaluation of the presence of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in pig meat and experimental transmission following oral exposure // *Canadian J. Veterinary Research.* – 2004. – Vol. 68. – P. 259 -266.
6. Baker J.A., Entsch B., Neilan B.A., McKay D.B. Monitoring changing toxigenicity of a cyanobacterial bloom by molecular methods // *Applied and Environmental Microbiology.* – 2002. – Vol. 68, No. 12. – P. 6070-6076.
7. Fialho O.B., de Souza E.M., de Borba Dallagassa C., de Oliveira Pedrosa F., Klassen G., Irino K., Paludo K.S., de Assis F.E., Surek M., de Souza Santos Farah S.M., Fadel-Picheth C.M. Detection of diarrheagenic *Escherichia coli* using a two-system multiplex-PCR protocol // *J. Clin. Lab. Anal.* – 2013. – Vol. 27(2). – P. 155 – 161.

## РОЗДІЛ 5. Геоекологічні дослідження геосистем

### Лекція 21

#### Тема: Функціонування геосистем. Аналіз впливу антропогенного перетворення територій на інтенсивність функціонування геосистем

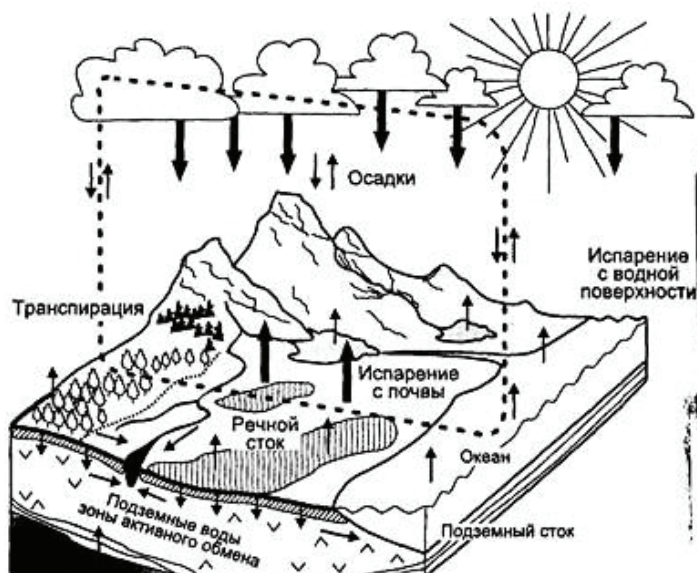
Інтенсивність функціонування геосистем визначається за інтенсивністю обміну речовин і енергії в геосистемах.

##### 1. Інтенсивність обігу води в геосистемі

Інтенсивність обігу води в геосистемі оцінюється на підставі аналізу значень коефіцієнтів транспірації/випаровування і стоку води:

$$K_{\text{транспірації/випаровування}} = \frac{\text{Річний обсяг транспірації і випаровування}}{\text{Річна кількість опадів}}$$

$$K_{\text{стоку води}} = \frac{\text{Обсяг річного стоку}}{\text{Річна кількість опадів}}$$



Колообіг води в геосистемах (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url=https](https://yandex.fr/images/search?img_url=https)).

##### 2. Інтенсивність обігу мінеральних речовин в геосистемі

Інтенсивність обігу мінеральних речовин в геосистемі оцінюється на підставі аналізу значень коефіцієнтів твердого стоку і стоку розчинених речовин:

$$K_{\text{твердого стоку}} = \frac{\text{Маса твердих речовин, які виносяться за межі геосистеми}}{\text{Площа геосистеми}}$$

$$K_{\text{стоку розчинених речовин}} = \frac{\text{Маса розчинених речовин, які виносяться за межі геосистеми}}{\text{Площа геосистеми}}$$

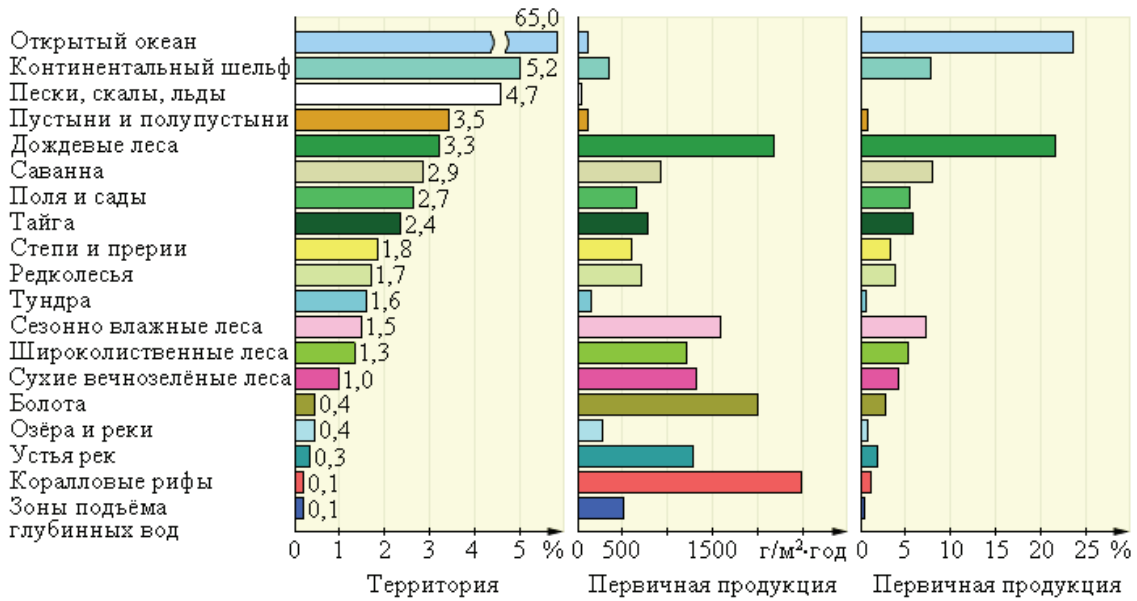
##### 3. Інтенсивність обігу біотичних речовин в геосистемі

Інтенсивність обігу біотичних речовин в геосистемі оцінюється на підставі аналізу значень коефіцієнту біологічної продуктивності геосистеми і коефіцієнту виносу біоти за межі геосистеми:

$$K_{\text{біопродуктивності}} = \frac{\text{Первинна фітопродукція в геосистемі}}{\text{Площа геосистеми}} \times 100\%$$

## Загальна фітомаса геосистеми

$\text{Квиносу біоти} = \frac{\text{Біомаса, яка виноситься за межі геосистеми}}{\text{Загальна біомаса геосистеми}} \times 100\%$



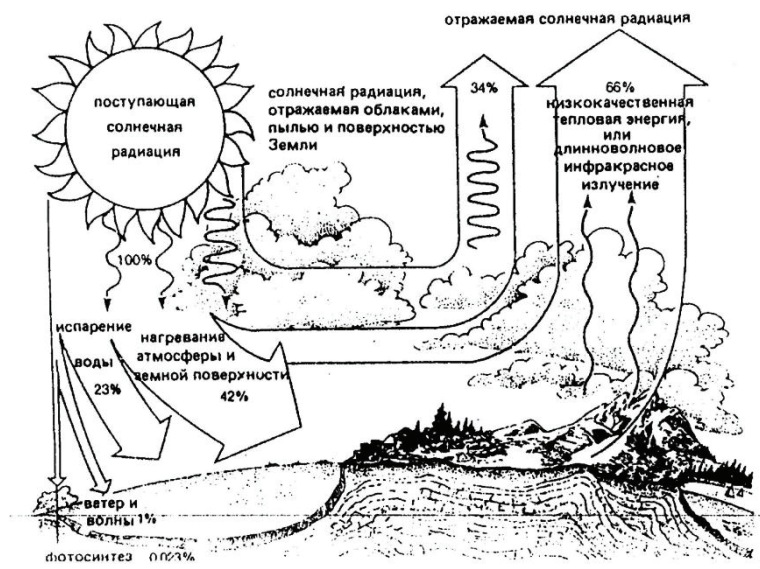
Первинна продуктивність різних екосистем Землі (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url=https://](https://yandex.fr/images/search?img_url=https://)).

### 4. Інтенсивність обігу сонячної енергії в геосистемі

Інтенсивність обігу сонячної енергії в геосистемі оцінюється на підставі аналізу значень коефіцієнтів відбивання сонячної енергії (альbedo) і теплової трансформації сонячної енергії в геосистемі.

$\text{Квідбивання} = \frac{\text{Відбита сонячна радіація}}{\text{Сумарна сонячна радіація на поверхні Землі}}$

$\text{Ктеплової трансформації } E = \frac{\text{Енергія Сонця, яка була витрачена на теплове нагрівання поверхні}}{\text{Сумарна сонячна радіація на поверхні Землі}}$



Обіг енергії в геосистемі ([https://yandex.fr/images/search?img\\_url=https://](https://yandex.fr/images/search?img_url=https://)).

Основні показники функціонування двох природних геосистем: широколистяного лісу та північностепової природної геосистеми (за Исаченко, 1965)

Основні характеристики геосистеми	Тип геосистеми	
	Широколистяний ліс	Північностепова природна геосистема
Річна кількість опадів, мм	650 мм	550 мм
Річний обсяг транспірації і випаровування, мм	520 мм	480 мм
Річний стік води, мм	130 мм	70 мм
Маса твердих речовин, які виносяться за межі геосистеми, тонн в рік	4320 т/рік	14700 т/рік
Маса розчинених мінеральних речовин, які виносяться за межі геосистеми, тонн в рік	410 т/рік	1235 т/рік
Площа геосистеми, км <sup>2</sup>	216 км <sup>2</sup>	196 км <sup>2</sup>
Первинна фітопродукція в геосистемі, тонн в рік на гектар	13 т/га	19 т/га
Загальна фітомаса геосистеми, тонн на гектар	380 т/га	17 т/га
Фітомаса, яка виноситься за межі геосистеми, тонн в рік з гектару	1,9 т/га	0,07 т/га
Сумарна сонячна радіація у поверхні Землі, МДж/м <sup>2</sup> в рік	1550 МДж/м <sup>2</sup>	1800 МДж/м <sup>2</sup>
Відбита сонячна радіація, МДж/м <sup>2</sup> в рік	217 МДж/м <sup>2</sup>	414 МДж/м <sup>2</sup>
Енергія Сонця, яка була витрачена на тепловий нагрів поверхні Землі, МДж/м <sup>2</sup> в рік	1323,7 МДж/м <sup>2</sup>	1383,2 МДж/м <sup>2</sup>
Енергія Сонця, яка була витрачена на фотосинтез, МДж/м <sup>2</sup> в рік	9,3 МДж/м <sup>2</sup>	2,8 МДж/м <sup>2</sup>

**5. Фактори, які впливають на функціонування геосистем.** Функціонування геосистем залежить від складу підстелюючих гірських порід, від форм рельєфу, від кліматичних умов на даній території (від температури навколишнього середовища, кількості і інтенсивності опадів, сили і тривалості вітрів і т.н.), від гідрологічного режиму території (промивний, непромивний, аридний, випітний, водозастійний і т.н.), від типу рослинності і від особливостей господарської діяльності людини на даних територіях або акваторіях.

**6. Каскадний ефект зміни показників функціонування геосистеми.** Зміна хоча б одного з параметрів функціонування геосистеми призводить до т.зв. каскадного ефекту: запускається ланцюг процесів, що призводять до зміни інтенсивності обігу інших компонентів геосистеми. Одним із прикладів такого каскадного ефекту можуть бути процеси, які спостерігаються протягом останніх 150 років на території пустелі Чіуауа (Північна Америка), де поступово відбувається вторгнення чагарників в трав'янисті екосистеми. Наслідком такої експансії є посилення ерозії поверхні, оскільки чагарники не здатні, на відміну від трав, досить ефективно стабілізувати поверхню.

Тривалий час серед вчених велися дискусії щодо причини витіснення трав чагарниками в даному регіоні. Результати експериментів, проведених Báez S. з колегами (2013), свідчать про те, що причиною зменшення трав'яного покриву і поширення замість трав - чагарників в пустелі Чіуауа, Північна Америка, є посухи, до яких чутливі домінуючі види трав і стійкі домінуючі види чагарників (за Báez et al., 2013). Таким чином, зміна показників водного функціонування геосистеми призвела до зміни типу біоти, що, в свою чергу, запустило зміни в інтенсивності обігу твердих речовин в геосистемі.



Пустеля Чіуауа, Північна Америка. Західний Техас (за [https://en.wikipedia.org/wiki/Chihuahuan\\_Desert](https://en.wikipedia.org/wiki/Chihuahuan_Desert)).



*Bouteloua eriopoda* - доміантний представник трав'янистих екосистем пустелі Чіуауа (за [https://en.wikipedia.org/wiki/Bouteloua\\_eriopoda](https://en.wikipedia.org/wiki/Bouteloua_eriopoda)).



Чагарник креозоту (*Larrea tridentata*) – доміантний вид чагарникових екосистем пустелі Чіуауа (за [https://en.wikipedia.org/wiki/Chihuahuan\\_Desert](https://en.wikipedia.org/wiki/Chihuahuan_Desert)).

## **7. Вплив господарської діяльності людини на функціонування геосистем (цитовано за <https://megalektsii.ru/s19187t1.html>).**

Вплив діяльності людини на форми рельєфу в геосистемах. Господарська діяльність людини призводить до змін мікро- і мезоформ рельєфу. Це можуть бути будівельні об'єкти (житлові будинки, підприємства і т.п.), а також - форми рельєфу, які з'являються в результаті господарської діяльності людини. Наприклад, в результаті видобутку корисних копалин утворюються техногенні форми мезорельєфа - терикони, відвали пустої породи, виїмки, кар'єри. Крім впливу на мікро- і мезоклімат території, подібні форми рельєфу змінюють водний баланс (посилюється поверхневий стік з геосистеми в порівнянні з інфільтрацією вод через відсутність покривної рослинності) і баланс твердої речовини в геосистемі (породи, що складають терикони і кар'єри, піддаються розмиву і розвіюванню внаслідок їх механічної незакріпленості рослинністю). В результаті, на місці штучно утворених форм рельєфу починають формуватися нові природні комплекси, які за своїм рангом можна порівняти з урочищами, а в великих гірничопромислових районах - навіть з ландшафтами (наприклад, на Донбасі).

Крім того, в антропогенно-змінених геосистемах, в порівнянні з природними геосистемами, в результаті більш інтенсивного розвитку процесів ерозії і дефляції, прискорено утворюються вторинні форми рельєфу: яри, бархани, улоговини вимивання і т.п.

Антропогенний вплив на баланс твердих речовин в геосистемі. Найбільш істотний вплив на оборот твердих речовин в геосистемі має видобуток корисних копалин (винос на поверхню землі незакріплених порід), розорювання територій, вирубка лісів, витоптування сільськогосподарськими тваринами рослинності на поверхні пасовищ, навантаження на

схили, що провокує зсувні процеси, осушення і зрошення територій і т.н. Ці чинники сприяють виносу твердого нерозчинного і водорозчинного матеріалу за межі геосистеми з вітром (розвіювання) і потоком поверхневих і підземних вод.

Фактором, який опосередковано посилює винос речовин за межі геосистеми, є хімічне, радіаційне, теплове і т.п. забруднення поверхні, що призводить до загибелі рослинного покриву, яке в свою чергу сприяє критичному зменшенню рівня закріпленості ґрунтів і підстелюючих порід і їх виносу за межі геосистеми. Значним також є антропогенний внесок у прискорення природних карстових і суффозійних процесів, розвиток яких також сприяє виносу речовин з геосистем. При цьому важливо підкреслити незворотність процесів виносу твердої речовини за межі геосистеми.

Джерелами внесення твердої речовини в геосистему з сусідніх геосистем може бути вітер і поверхневі і підземні води. Завдяки феномену геоecологічної трансмісії на територію геосистеми можуть привноситися значні кількості твердого та розчиненого матеріалу з сусідніх геосистем. При цьому внесок з антропогенно-порушених територій як правило, значно перевищує такий при сусідстві з нетрансформованими геосистемами. Крім того, внесення речовин з териконів часто супроводжується хімічним забрудненням поверхні токсичними металами і металоїдами.

Внесення речовин в геосистему може провокуватися також нераціональною господарською діяльністю на території даної геосистеми. Так, порушення зрошувальних норм може призвести до підйому мінералізованих підземних вод і до вторинного засолення території. Крім того, важливим джерелом потрапляння речовин в геосистему є внесення добрив на поля, потрапляння ексудатів звалищ в підземні води, осідання з краплями дощу забруднюючих речовин з атмосфери і т.п.

Антропогенна зміна геохімічного колообігу. Видобуток корисних копалин призводить до потрапляння нетипових для природних екосистем хімічних елементів в колообіг речовин. Крім того, техногенні викиди, ексудати промислових і побутових звалищ, плюс використання хімічних сполук для захисту сільськогосподарських угідь (інсектициди, гербіциди і т.н.), робота з протипожежними сумішами, антиголольодними сполуками, із сумішами, що захищають днища кораблів від обростання і т.п. - все це призводить до потрапляння в природні екосистеми значних кількостей хімічних речовин, не характерних для відповідних екосистем. Результатом антропогенної зміни геохімічної обстановки в геосистемі, як правило, є збіднення видового складу і, навіть, повне вимирання біоти на забруднених ділянках. У свою чергу, відсутність рослинного покриву призводить до катастрофічного посилення вітрового і водного виносу речовин за межі геосистеми.

Антропогенний вплив на колообіг води в геосистемах. Зрошення і осушення територій, створення штучних водоймищ, видобуток підземних вод є формами прямого впливу людини на водний баланс територій. До факторів вторинних, які опосередковано призводять до зміни водного балансу територій, відносяться знищення природної рослинності, що критично збільшує стік з поверхні геосистеми, зміна типу рослинності (що впливає на інтенсивність транспірації в геосистемі), видобуток корисних копалин (який супроводжується змінами гідрологічного режиму територій) і т.п.

Будівництво штучних водоймищ часто змінює водний баланс території, викликаючи її підтоплення. З іншого боку, зарегулювання стоку річки водосховищами - порушує водний режим заплавлених територій, розташованих нижче водосховища, що призводить до їх деградації. Презабор води на зрошення і на господарські потреби сприяє порушенню водного режиму річок і прилеглих до них територій.

Антропогенний вплив на колообіг біоти в геосистемах. Інтенсивний винос сільськогосподарської продукції з полів сприяє виснаженню ґрунтів на біогенні мінеральні речовини і гумус. Інтенсивний відстріл та відлов тварин і риби призводить до виснаження природних ресурсів в локальних екосистемах, до порушення трофічних ланцюгів і до каскадного вимирання багатьох груп організмів. Штучне підселення чужорідних організмів



(інтродукція господарсько- і декоративно-важливих видів), а також опосередковане господарською діяльністю самовселення чужорідних видів у природні екосистеми - часто призводить до агресивного розмноження чужорідного виду і до витіснення місцевих видів з геосистеми, що сприяє розбалансуванню геосистеми і провокує зміну типу геосистеми.

Опосередкований вплив господарської діяльності людини на біоту проявляється в тому, що в забруднених геосистемах відбувається вимирання багатьох видів чутливих організмів і подальше розселення видів, які до цього знаходилися на другорядних ролях в екосистемах. Створення штучних біоценозів (парки, ботанічні сади і т.п.) часто супроводжується внесенням чужорідних видів, потрапляння яких в природні геосистеми зазвичай негативно позначається на їх видовому розмаїтті.

Антропогенний вплив на колообіг енергії в геосистемах. Зміна типу рослинності (наприклад, заміна лісу на сільськогосподарські посіви) і повне знищення рослинності - змінюють альbedo (коефіцієнт відбиття сонячного світла) території, що впливає на сумарний тепловий баланс поверхні. Зрошення і осушення територій також впливають на підсумковий місцевий тепловий баланс геосистеми. Наприклад, при осушенні території, зменшуються витрати тепла на випаровування (на 10-15%); при цьому зниження вологості повітря сприяє більш інтенсивному нагріванню поверхонь вдень і їх різкому охолодженню вночі.

Пряме теплове забруднення атмосфери, води, ґрунтів в результаті діяльності підприємств, а також підвищення концентрації парникових газів в атмосфері, здатні приводити до зміни теплового режиму геосистем і до суттєвих змін показників їх функціонування. Крім того, зміна теплового балансу в містах часто пов'язана зі створенням штучних покриттів (асфальтування), які призводять до перегріву території за рахунок зменшення альbedo поверхні. У результаті дії всіх вище зазначених чинників, середні річні температури в великих містах на 1-2 ° С вище, ніж в околицях, а зимові можуть бути вище на 6-7°С.

Механічне та хімічне забруднення навколишнього середовища внаслідок господарської діяльності людини, також здатне викликати зміни енергетичного балансу в геосистемах. Так, нафтова плівка на поверхні водойм і суші зменшує випаровування води і тим самим впливає на сумарний тепловий баланс територій і акваторій. Запилення поверхні льоду і снігу зменшує їх альbedo; при цьому сонячна енергія трансформується в теплову, що приводить до танення снігу і льоду. З іншого боку, запилення атмосферного повітря підвищує величину відбиття сонячних променів в атмосфері, що в підсумку знижує температуру поверхні Землі. Крім того, в умовах запилення атмосфери - рослини недоотримують життєво важливі сонячні промені, а це зменшує первинну продуктивність екосистем.

Важливо відзначити, що оскільки природні геосистеми Землі є відкритими системами (тобто системами, які обмінюються з іншими системами потоками речовини та енергії) - то зміни параметрів функціонування геосистеми, яка безпосередньо піддається антропогенному впливу, призводять, з часом, до зміни параметрів функціонування сусідніх геосистем (цитовано за <https://megalektsii.ru/s19187t1.html>; [http://studbooks.net/71381/ekologiya/izmeneniya\\_prirodnyh\\_protsesov\\_geosistemah](http://studbooks.net/71381/ekologiya/izmeneniya_prirodnyh_protsesov_geosistemah)).

## **8. Коливання значень показників функціонування геосистем в природних і антропогенно-трансформованих геосистемах.**

На значення показників функціонування геосистем істотний вплив мають коливання кліматичних умов на певних територіях і характер господарської діяльності людини. Тимчасові зміни показників функціонування геосистеми в межах  $\pm 10\%$  від базового рівня зазвичай спостерігаються під час надрічних коливань кліматичних показників на даній території і, як правило, не супроводжуються розбалансуванням геосистеми в цілому. Тоді як господарське перетворення території зазвичай призводить до тривалих і значних змін показників функціонування геосистеми, що, в цілому, сприяє дестабілізації геосистеми і її поступовій заміні на геосистему іншого типу.

Розрахунок відсотка відхилення значень показників функціонування геосистеми внаслідок зміни інтенсивності дії природних факторів або господарської діяльності людини:

$$\% \text{ відхилення значень} = \frac{(K_b - K_a)}{K_a} \times 100\%$$

Де:  $K_a$  – значення відповідного коефіцієнту для базової природної геосистеми;  $K_b$  - значення відповідного коефіцієнту для базової природної геосистеми в умовах зміни інтенсивності дії природних факторів або її антропогенної трансформації.

Відомо, що зміна інтенсивності обігу речовин і енергії в геосистемі в межах 10% не призводить до дестабілізації геосистеми. Тоді як тривалі зміни більшої амплітуди – як в бік прискорення, так і гальмування процесів – спроможні розбалансувати геосистему. Аналіз відхилення значень показників функціонування антропогенно-трансформованих геосистем порівняно з природними геосистемами свідчить про те, що господарська діяльність людини призводить до радикальних змін параметрів функціонування геосистем і до поступової заміни однієї геосистеми на іншу.

#### **Контрольні питання:**

1. Поняття інтенсивності функціонування геосистем.
2. Методи оцінки інтенсивності обігу води в геосистемі.
3. Аналіз інтенсивності обігу мінеральних речовин в геосистемі.
4. Методи дослідження інтенсивності обігу біотичних речовин в геосистемі.
5. Оцінка інтенсивності обігу сонячної енергії в геосистемі.
6. Фактори, які впливають на функціонування геосистем.
7. Каскадний ефект зміни показників функціонування геосистеми.
8. Вплив господарської діяльності людини на функціонування геосистем.
9. Коливання значень показників функціонування геосистем в природних і антропогенно-трансформованих геосистемах.

#### **Література:**

1. Бессолицына Е.П. Ландшафтно-экологическая оценка изменения геосистем под воздействием антропогенных факторов // География и природ. ресурсы. – 2001а. – № 4. – С. 11-17.
2. Волкова В.Г., Давыдова Н.Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 188 с.
3. Воробьева И.Б. Структурно-функциональные особенности южносибирских лесостепных геосистем // Географические исследования Сибири. Ландшафтообразующие процессы. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. – Т. 2. – С. 188-208.
4. Глазовская М.А. Принципы классификации природных геосистем по устойчивости к техногенезу и прогнозные ландшафтно-геохимическое районирование // Устойчивость геосистем. – М.: Наука, 1983. – С. 61-78.
5. Глазовская М.А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 7-41.
6. Глазовская М.А. Методические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 102 с.
7. Григорьев А.А. О взаимосвязи и взаимообусловленности компонентов географической среды и о роли в них обмена веществ и энергии // Изв. АН СССР. Серия геогр. 1956. № 4. С. 38-45.
8. Григорьев А.А. Закон интенсивности физико-географического процесса // Изв. ВГО. – 1943. – Т. 75. – Вып. 1. – С. 3-13.
9. Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата: Сб. науч. трудов кафедры ЮНЕСКО Югорского гос. ун-та. – Новосибирск: Ред.-изд. центр Новосиб. гос. ун-та, 2008. – Вып. 1. – 227 с.
10. Добровольский В.В. Роль выветривания и почвообразования в эволюции химического состава земной коры континентов // Почвоведение. – 2002. – № 12. – С. 1413-1420.
11. Дубынина С.С. Изменение структуры и состава фитомассы под влиянием техногенных факторов // География и природ. ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 46-54.
12. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. – М.: Наука, 1993. – 253 с.

13. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование. – М.: Высш. шк., 1965. – 328 с.
14. Мамай И.И. Динамика и функционирование ландшафтов. Учебное пособие. – М.: Узд-во Московского университета, 2005. – 138 с.
15. Мартынов А.В. Почвенно-геохимические показатели динамики вещества в естественных и измененных геосистемах // Динамика вещества в геосистемах. – Иркутск, 1983. – С. 17-27.
16. Мартынов А. В. Динамика вещества в геосистемах при усиливающемся техногенном воздействии: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – Иркутск, 1985. – 20 с.
17. Матушкина О.А., Нечаева Е.Г. Воздействие загрязнения на городские техногеосистемы (на примере г. Ангарска) // Экология и научно-технический прогресс / Матер. второй междунар. науч.-технич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пермь, 2004. – С. 93-96.
18. Мельник А.В. Динамика антропогенных ландшафтов Западного Забайкалья (Историко-географический аспект). – М.: Изд-во МИИГАиК, 1999. – 342 с.
19. Мильков Ф.Н. Человек и ландшафты. - М., 1973.
20. Миронова Е.Н., Белозерцева И.А., Выркин В.Б. и др. Оценка пастбищной трансформации растительного и почвенного покрова Северного Прихубсугулья // Монгол орны газарзүйн асуудал. – Улаанбаатар: Изд-во Монгол Улсын Шинжлэх Ухааны Академи Газарзүйн Хурээлэн, 2007. – № 6. – С. 39-42.
21. Напрасников А.Т. Гидролого-климатические системы: Геоэкологический анализ. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003. – 144 с.
22. Нейштадт М.И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания // Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. – М.: Наука, 1977. – С. 39-47.
23. Нечаева Е.Г. Мониторинг вещественно-динамического состояния геосистем в познании физико-географического процесса // География и природ. ресурсы. – 2007а. – № 3. – С. 108-116.
24. Нечаева Е.Г. Дифференциация вещества в оценке динамических стадий развития пойменных геосистем // Географические исследования Сибири. Ландшафтообразующие процессы. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007б. – Т. 2. – С. 210-231.
25. Перельман А.И. Законы гипергенной миграции элементов как теоретические основы геохимических поисков // Стратегия геохимических поисков рудных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 28-47.
26. Соболева Н.П. Ландшафтоведение: учебное пособие / Н.П. Соболева, Е.Г. Языков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 175 с.
27. Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных систем к техногенным нагрузкам: (Принципы и методы изучения, критерии прогноза) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М.: Наука, 1982. – С. 181-216.
28. Структура и функционирование южнотаежных геосистем Прииртышья / Нечаева Е.Г., Антоненко А.М., Кустов Ю.В. и др. – Новосибирск: Наука, 1982. – 120 с.
29. Титлянова А.А. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. – М.: Мысль, 1978. – 181 с.
30. Титлянова А.А., Тесаржова М. Режимы биологического круговорота. – Новосибирск: Наука, 1991. – 149 с.
31. Шорникова Е.А. Методические рекомендации по планированию, организации и ведению мониторинга поверхностных водотоков: гидрохимические и микробиологические методы. – Сургут: Дефис, 2007. – 88 с
32. Щетников А.И. Тенденции динамики вещества южносибирских геосистем в условиях глобальных изменений природной среды и антропогенных нагрузок // Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. – Новосибирск: Наука, 2004. – С. 20-31.
33. Báez S., Collins S.L., Pockman W.T., Johnson J.E., Small E.E. Effects of experimental rainfall manipulations on Chihuahuan Desert grassland and shrubland plant communities // *Oecologia*. – 2013. – Vol. 172(4). – P. 1117 - 1127. doi: 10.1007/s00442-012-2552-0.

## Лекція 22

### Тема: Динаміка і еволюція геосистем

#### 1. Динаміка геосистем.

Динаміка геосистеми - це сукупність оборотних змін в геосистемі. До динамічних змін в геосистемах відносять: а) добові зміни (день - ніч); б) сезонні зміни (весна - літо - осінь - зима); в) циклічні надрічні зміни; г) відновлення геосистем після катастрофічних впливів (пожеж, вирубки, перевипасу худоби і т.п.).

Причини появи динамічних ритмів в геосистемах:

- 1) обертання Землі навколо своєї осі;
- 2) обертання Землі навколо Сонця і нахил земної осі до площини екліптики;
- 3) періодична зміна сонячної активності;
- 4) циклічні зміни взаємного розташування Місяця-Землі-Сонця і відповідна зміна характеру припливоутворюючих сил;
- 5) циклічні зміни ексцентриситету земної орбіти (тобто, віддаленості земної орбіти від Сонця) + циклічні зміни кута нахилу вісі обертання Землі до площини екліптики + циклічні зміни положення вісі обертання Землі через її власний обертальний рух;
- 6) квазіцикли тектонічної та вулканічної активності.

Необхідно відзначити, що більшість ритмів, а особливо - ритмів з великою періодичністю, має квазіперіодичний характер (тобто, близькоперіодичний характер). Чому? Фактори, які викликають ритмічні коливання, - змінюються строго періодично (зокрема, добові і річні). Однак, їх географічним проявам не властива суворість повторюваності через одні й ті ж інтервали часу. Це пов'язано з неоднаковою інерційністю компонентів геосистеми. В результаті спостерігаються більші чи менші зрушення по фазі в ритмах окремих компонентів. При цьому у різних параметрів амплітуда коливань виявляється неоднаковою – від максимальної до повного загасання (наприклад, амплітуда сезонних коливань температур в ґрунтах менше, ніж в повітрі і поступово згасає з глибиною). При цьому різні ритми накладаються один на один: добові, річні, 11-річні, 24-річні тощо - що, в цілому, затушовує чіткість ритмів і ускладнює їх розчленування.

#### 2. Еволюція геосистем.

Еволюція геосистем - це сукупність незворотних змін в геосистемах. Незворотні зміни можуть бути викликані наступними чинниками: 1) незворотними змінами рельєфу внаслідок тектонічних рухів землі або процесів вивітрювання; 2) незворотними змінами клімату, наприклад, внаслідок нециклічних змін активності Сонця або – нециклічних змін хімічного складу атмосферного повітря через зміни складу магм, що вивергаються і т.н.; 3) накопиченням в геосистемі продуктів її життєдіяльності; 4) в результаті господарської діяльності людини.

Механізм заміни однієї геосистеми на іншу. Важливо відзначити, що і при динамічних, і при еволюційних змінах - в геосистемах запускаються сукцесійні ряди. Однак результуючий ефект (тобто динаміка або еволюція геосистеми) буде залежати від зворотності або незворотності змін, які дали поштовх до запуску сукцесійного ряду.

Напрямок заміни однієї геосистеми на іншу диктується зовнішніми умовами і характером саморозвитку геосистеми. Саме зовнішні умови визначають те, які елементи геосистеми отримують розвиток: реліктові, консервативні або прогресивні.

#### 3. Дослідження сукцесійних змін в екосистемах. Методи прискорення та гальмування сукцесій

Сукцесія - це ряд послідовних змін біоценозів в часі. Такий ряд біоценозів залежить від того, якими були стартові, початкові умови, які запустили сукцесію. Стресор може бути будь-якої природи: засолення, вимерзання, посуха, підтоплення, тощо.

Сукцесійний ряд:      Стартові умови:

- піроморфний ряд → згарище;
- літоморфний ряд → застигла лава;

- псаморфний ряд → засипання піском;
- гідроморфний ряд → підтоплення;
- ксероморфний ряд → посуха;
- галоморфний ряд → засолення;
- кріоморфний ряд → вимерзання, тощо.

Швидкість сукцесії залежить від кліматичних умов на даній території і від стартових умов сукцесії.

Зміни в сукцесійному ряду відбуваються не нескінченно. Як тільки геосистема приходить в рівновагу з навколишнім середовищем - сукцесійний ряд зупиняється. Такий рівноважний з навколишнім середовищем стан геосистеми називається *клімаксом* геосистеми. Якщо геосистема знаходиться в клімаксовому стані і при цьому відбувається різка зміна умов навколишнього середовища - наприклад, настає похолодання, - то в геосистемі запускається новий, в даному випадку - кріоморфний сукцесійний ряд.

#### **4. Регулювання швидкості ландшафтної сукцесії.**

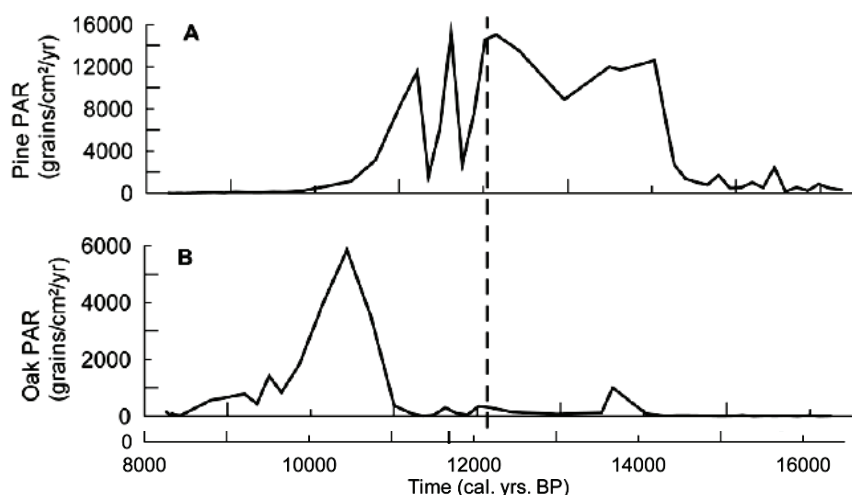
Швидкість ландшафтної сукцесії можна регулювати штучно (прискорювати або сповільнювати). Наприклад, лісники США уповільнюють природну сукцесійну заміну хвойних лісів на широколистяні ліси, видаляючи поросль широколистяних порід (оскільки хвойні породи дерев дорожче коштують).

Наприклад, в Україні співробітники Донецького ботанічного саду та Дніпропетровського університету при проведенні рекультивациі земель підсаджують види рослин, які в природному сукцесійному ряду поселяються на рекультивовані відновлювані землі на більш пізніх стадіях сукцесії і, тим самим, штучно прискорюють рекультивацию земель.

Наприклад, до післяпожежного лісу підсаджують спеціальних мурах, які прискорюють післяпожежну сукцесію лісу і т.н.

#### **5. Приклади сукцесійних змін в екосистемах, пов'язаних з кліматичними змінами навколишнього середовища.**

Температурна еволюційна сукцесія, пов'язана з потеплінням клімату. У ранньому Голоцені в інтервалі 16000 - 8000 років тому через потепління клімату відбулося заміщення хвойних лісів на листяні ліси (дуб замінив сосну) (за Jeffers et al., 2011).



Зміна типу лісу, пов'язана з потеплінням клімату 16000-8000 р.т., встановлена на підставі аналізу накопичення різних типів пилку в відповідних геогоризонтах. Де: PAR, pollen accumulation rates (grains/cm<sup>2</sup>/yr) - накопичення пилку (зерна/см<sup>2</sup>/ рік); Time (cal.yrs. BP) - геологічний час (календарні роки до нашої ери); Pine PAR - накопичення пилкових зерен сосни; Oak PAR - накопичення пилкових зерен дуба (за Jeffers et al., 2011).

Сьогодні потепління клімату запускає сукцесію витіснення хвойних рослин квітковими рослинами в Середземномор'ї (за Carnicer et al., 2013).

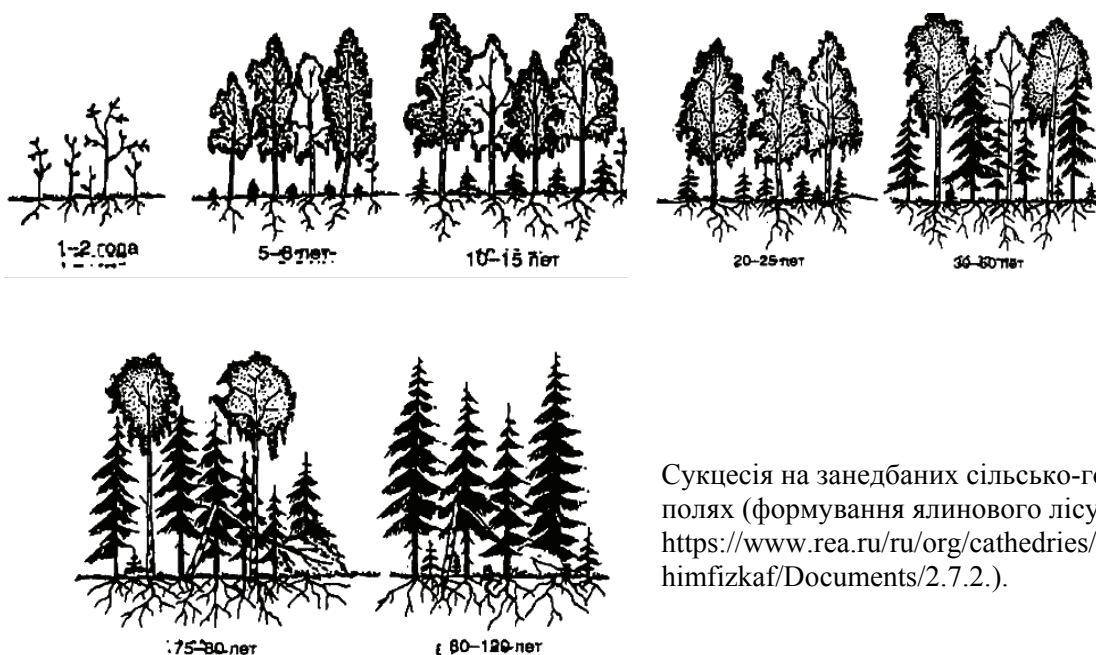
Ксероморфна сукцесія. Harrison S.P. з колегами (2015) була виявлена втрата видового різноманіття в трав'янистих співтовариствах в інтервалі 2000 - 2014 рр., внаслідок посилення посушливості клімату на території Каліфорнії, США. При цьому авторами дослідження було встановлено, що спільноти стали особливо бідними по однорічним нативним трав'янистим видам з дрібним насінням і з високою питомою площею листа (тобто, за видами, нетолерантними до посухи) (за Harrison et al., 2015). Таким чином, стресовими кліматичними умовами була запущена ксероморфна сукцесія, в ході якої з екосистеми почали зникати посухочутливі види.



Гори на півдні Каліфорнії. Коричневі крони - це дерева сосни *Pinus ponderosa*, загиблі через сильну посуху. 2014 р. Водний стрес є однією з найважливіших причин загибелі лісів (за Franklin et al., 2016).

### **6. Динамічні сукцесії відновлення екосистем після катастрофічних впливів (природних і антропогенних).**

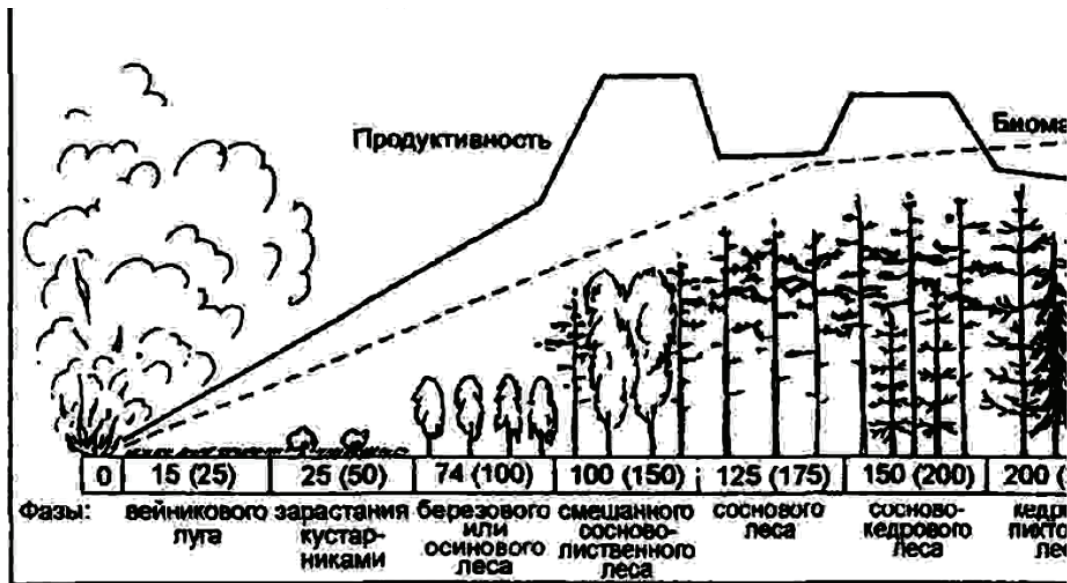
Після припинення дії стресового чинника (припинення випасу худоби або обробітку сільськогосподарських земель, після пожежі, вирубки лісу, зсуву ґрунтів, хімічного або радіаційного забруднення і т.п.) - починається відновлення порушених екосистем. Напрямок відновлення і його тривалість визначаються ступенем порушеності екосистеми і кліматичними умовами на відповідній території або акваторії.



Сукцесія на занедбаних сільсько-господарських полях (формування ялинового лісу) (цитовано за <https://www.rea.ru/ru/org/cathedries/himfizkaf/Documents/2.7.2.>).



Сукцесія після верхової пожежі в лісі (через 10 років після пожежі) (цитовано за <https://www.rea.ru/ru/org/cathedries/himfizkaf/Documents/2.7.2.>).



Сукцесія відновлення кедрового лісу після пожежі (цитовано за <https://www.rea.ru/ru/org/cathedries/himfizkaf/Documents/2.7.2.>).

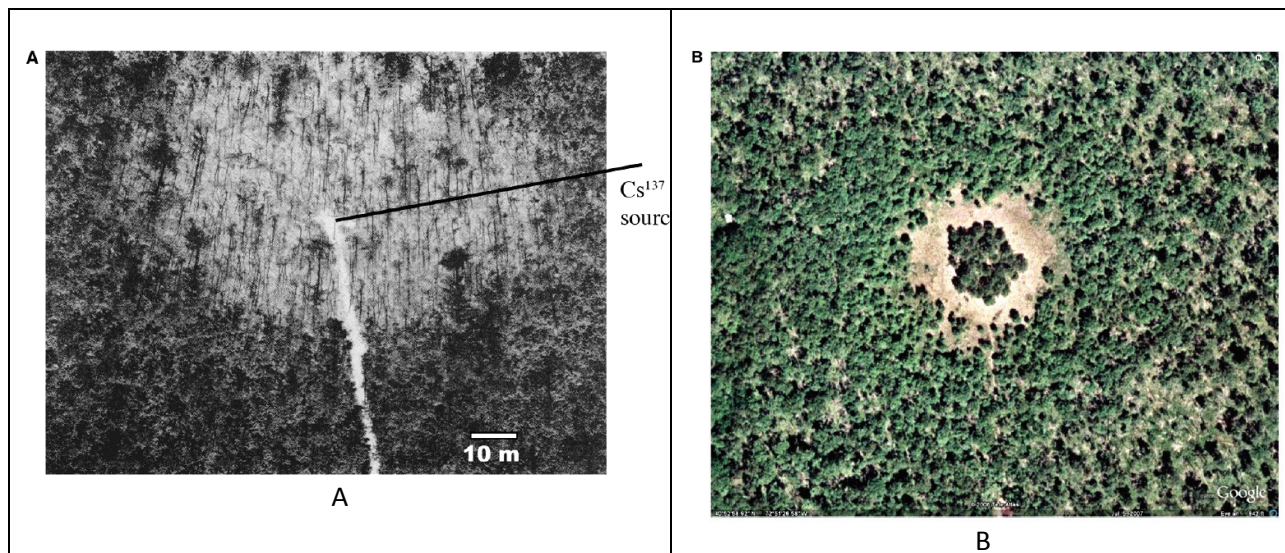


Сукцесія заростання відвалу (за <http://www.csbg.Nsc.ru/uploads/dissertation/2014/sambu.pdf>). Самбуу А.Д. Сукцесія рослинних угруповань в трав'яних екосистемах Туви. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук, Кизил – 2014).



Відновлення дуба скельного на зсуві (цитовано за <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/77.pdf>; Харченко Н.А., Кулаков В.Ю. Сукцессионная динамика дубрав Западного Кавказа. Научный журнал КубГАУ, №75 (01), 2012 г).

Сукцесія відновлення лісу після дії іонізуючого випромінювання. В ході експерименту, проведеного в 1961 р. (Брукхейвенська національна лабораторія, Лонг-Айленд, Нью-Йорк, США), локальна територія сосново-дубового лісу була піддана інтенсивному гамма-опромінненню. Експерименти були припинені в 1978 р. Stalter R. і Kincaid D. (2009) припустили, що через 30 років після припинення дії іонізуючого випромінювання - ліс відновиться з видовим складом, характерним для контрольних неопромінених ділянок. Однак, проведені дослідження не підтвердили цієї гіпотези: за станом на 2007/2008 рр. п'ять концентричних зон рослинності, зосереджених навколо гамма-джерела, зберегли свою флористичну неоднорідність (за Stalter & Kincaid, 2009).



Зйомка з повітря гамма-опроміненого сосново-дубового лісу (1961 р, Брукхейвенська національна лабораторія, Лонг-Айленд, Нью-Йорк, США): А - через 6 місяців після інтенсивного гамма-опроміннення; В - в 2007 році: центральна мертва зона була заселена *Pinus rigida*, в суміжній зоні (солом'яного кольору) - до цих пір домінує жовта осока (*Carex pensylvanica*), яка, в свою чергу, межує з чагарниками (за Stalter & Kincaid, 2009).

Після припинення дії іонізуючого гамма-випромінювання на ділянку сосново-дубового лісу - станом на 2007 р центральна мертва зона була успішно колонізована сосною жорсткою *P. rigida* (всього - 18 дерев віком від 16 до 20 років). Таким чином, оскільки опроміннення території було завершено в 1978 р, - знадобилося 9 років для вторгнення сосни жорсткої в мертво зону і досягнення деревами висоти 1 м. Соснам для відтворення підходять мінералізовані ґрунти. Цим можна пояснити їх успішне заселення в мертво зону. Соснам складно було вселятися в зону осок, оскільки кореневища осоки створюють для цього перешкоду.

Осока жовта (*Carex pensylvanica*) є однією з найбільш стійких до іонізуючого випромінювання судинних рослин, які виживають при дозі опроміннення, що перевищує 100 рентген в день. У 2007 р. зона дубів і контрольна зони - були подібними з точки зору видової композиції: обидві зони містили чагарники *G. baccata*. Сосна жорстка показала повільне вселення в зону дубів (займала всього 13% поверхні). При цьому в контрольній зоні сосново-дубового лісу сосна жорстка *Pinus rigida* була більш типовим представником деревостою і займала 60% поверхні. Вік дерев сосни жорсткої в контрольній зоні склав 63 - 71 років.

Сосна жорстка - це піонерний вид, що заселяє одним з перших пошкоджені території. Можливо, тому, її вселення в зони, зайняті осоками і вересовими - було загальмовано. У 2007 р. в осоковій зоні було виявлено вселення 12 видів судинних рослин, чисельність яких була незначною через щільну кореневу систему осок. У вересковій зоні домінуючим видом був глибоко-кореневий *V. vascellans*, який також був типовим представником в дубовій і контрольній зонах. Представник вересових *G. baccata* був домінуючим чагарником в дубовій і контрольній зонах, де він займав до 100% всіх площ. Таким чином, сосна жорстка показала

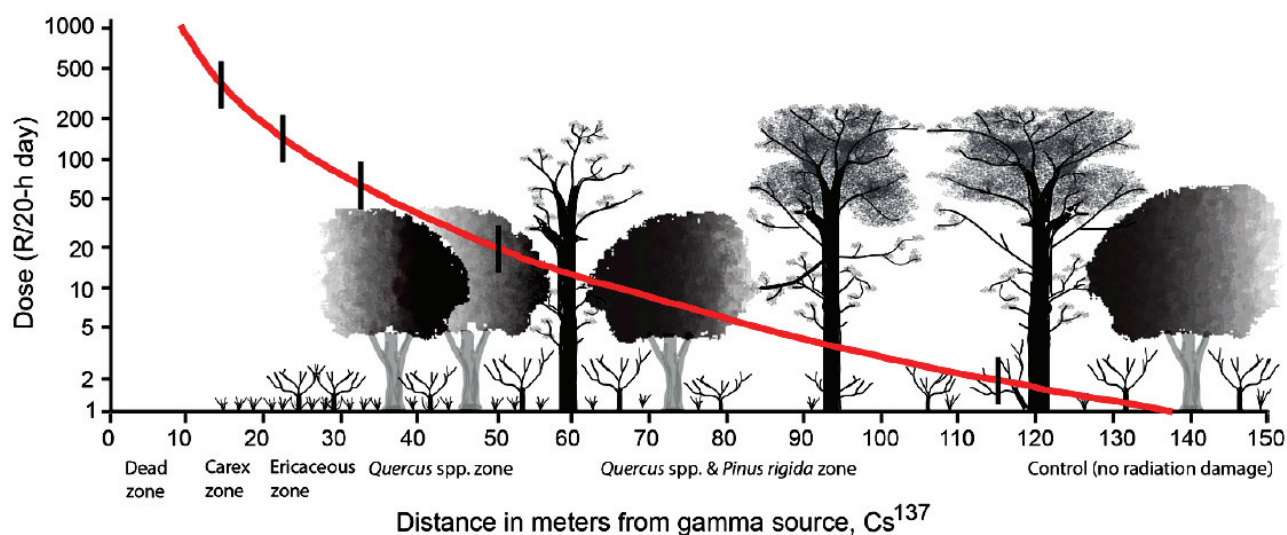


уповільнене вселення в зони осокових, вересових і дубів - тобто в ті зони, де її представники були знищені високими дозами іонізуючого випромінювання. У вересовій зоні дуби зустрічалися спорадично.

Висунута авторами на початку роботи нульова гіпотеза про повне флористичне відновлення зони лісу через 30 років після припинення дії іонізуючого випромінювання - була відхилена. Була виявлена флористична гетерогенність в межах п'яти вегетативних зон, що концентрично розходилися від початкового джерела випромінювання. В цілому, проведені дослідження показали, що 30 років - це не достатній період для повного відновлення лісу після гамма-опромінення. Однак, виявлені Stalter R. і Kincaid D. (2009) факти, свідчать про те, що в цілому, екосистема гамма-опроміненого лісу, поступово рухається до свого клімаксного стану сосново-дубового лісу (за Stalter & Kincaid, 2009).



Розвиток спільноти в гамма-опроміненому лісі в Брукхейвській національній лабораторії восени 2007 року. Деревина сосни жорсткої (*Pinus rigida*) вторглися в мертву зону (на задньому плані фотографії). Зона осок (*Carex*) показала малі зміни за 30 років (відкрита площа малюнка). Дуби вторглися в зону пошкодження (показано на передньому плані) (за Stalter & Kincaid, 2009).



Пошкодження сосново-дубового лісу різними дозами іонізуючого випромінювання (за станом на 1962 р). Зони пошкодження обмежені вертикальними лініями. Де: Dead zone - мертва зона; Carex zone - зона осок; Ericaceous zone - зона ерікацієвих (вересові); *Quercus* spp. zone - зона дубів; *Quercus* spp. & *Pinus rigida* zone - зона дубів і сосни жорсткої; Control (no radiation damage) - контрольна (неопромінена) зона; Distance in meters from gamma source, Cs<sup>137</sup> - відстань від джерела гамма-опромінення, в метрах (за Stalter & Kincaid, 2009).



Дубова зона в гамма-опроміненому лісі, Брукхейвенська національна лабораторія, осінь 2007. Дубовий ліс з вересовим підліском (за Stalter & Kincaid, 2009).



Контрольна зона в гамма-опроміненому лісі, Брукхейвенська національна лабораторія, літо 2007. Зрілий сосново-дубовий ліс з вересовим чагарниковим шаром (за Stalter & Kincaid, 2009).

**Вплив чужорідних видів на швидкість відновлення екосистем після катастрофічних впливів.** Види вселенці (як інтродуковані, так і види-самовселенці), як правило, є більш конкурентоспроможними порівняно з нативними видами. В умовах зняття дії стресового чинника і початку відновлення екосистем в багатьох випадках саме види-вселенці захоплюють екосистеми. Так, дослідження, проведені Lu P.L. і DeLay J.K. (2016) показали, що на Гаваях після лісових пожеж швидше почали відновлюватися інтродуковані, а не місцеві види, що слід враховувати при необхідності збереження місцевих флор і для запобігання інвазії чужорідних видів. Причина - більш висока конкурентоспроможність інтродукованих видів на відкритих післяпожежених просторах в порівнянні з місцевими видами (за Lu & DeLay, 2016).

Наприклад, видалення ненативного чужорідного виду дерев (мімози, *Mimosa caesalpinifolia* Benth) сприяло прискоренню сукцесії в відновлюваній лісовій екосистемі на території штату Сан-Паулу, Бразилія. Podadera D.S. з колегами (2015) проводили дослідження на двох 14-річних плантаціях з двома різними технологіями реставрації лісу. Природна регенерація деревних порід (висота  $\geq 0,2$  м) порівнювалася між керованими (всі дерева мімози *M. caesalpinifolia* видалені) і некерованими ділянками протягом першого року після втручання. Проведені дослідження показали, що видалення мімози - збільшило видову різноманітність в відновлюваній лісовій екосистемі (за Podadera et al., 2015).

**Підбір нативних Середземноморських рослин для фіторе mediaції забруднених важкими металами територій дозволить припинити ерозію і рознесення забруднюючих речовин на сусідні території.** Оскільки на забруднених ґрунтах тривалий час не поселяються рослини - це призводить до більш інтенсивної водної та вітрової ерозії таких ґрунтів і до відповідного рознесення забруднюючих речовин на інші території та акваторії. Шучне підселення на ранніх стадіях сукцесії нативних толерантних до даного типу забруднення рослин буде запобігати ерозії забруднених ґрунтів і рознесенню токсичних речовин в процесі геоecологічної трансмісії.

Подібного типу дослідження були проведені Heckenroth A. з колегами (2016) на територіях, забруднених As, Cu, Pb, Sb, Zn, в районі колишнього заводу з виплавки свинцю, зупиненого з 1925 року в Національному парку Каланкіс (Марсель, південно-східна Франція). На порушених територіях мало місце спонтанне відновлення рослинності. При цьому різні відновлювані території піддавалися різним природним і антропогенним впливам, що наклало відбиток на характер сукцесій, які формувалися на даних територіях (тобто, обстежені території, як мінімум, перебували на різних стадіях відновної сукцесії). Heckenroth A. з колегами (2016) були ідентифіковані 4 спонтанних рослинних спільноти співіснуючих

на забруднених металами і металоїдами ґрунтах відповідно до градієнтів їх забруднення. Отримані Heckenroth A. з колегами (2016) дані свідчать про те, що деякі нативні види рослин, такі як *Coronilla juncea* і *Globularia alypum*, можуть бути толерантними до високих концентрацій суміші токсичних металів в ґрунтах і таким чином, можуть бути використані для фітостабілізації забруднених металами територій Середземномор'я (за Heckenroth et al., 2016).



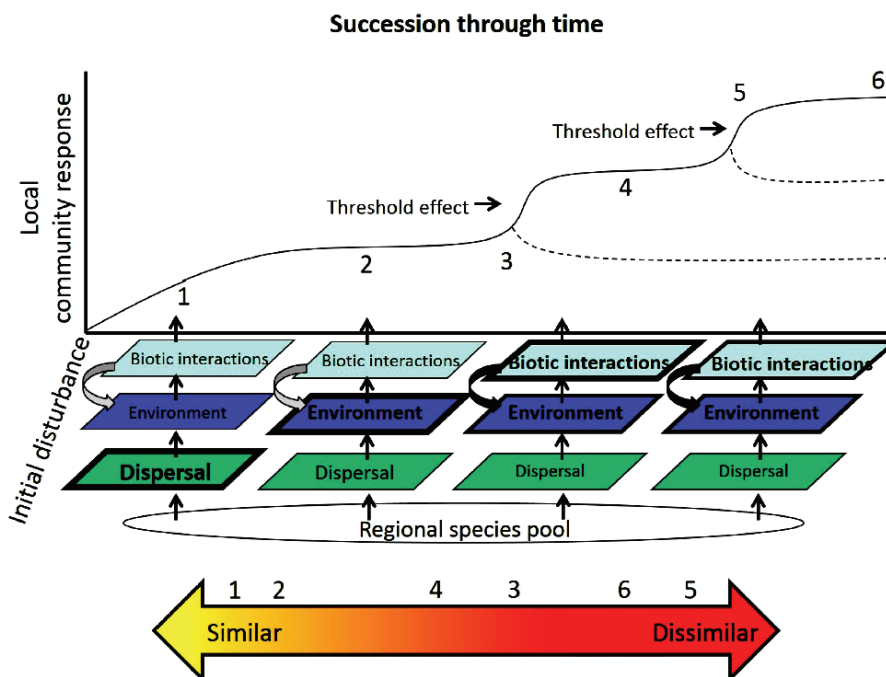
Вязель Ситникова (*Coronilla juncea*) (за [https://es.wikipedia.org/wiki/Coronilla\\_juncea](https://es.wikipedia.org/wiki/Coronilla_juncea)).



Шаровниця знеболювальна (*Globularia alypum*) (за [https://es.wikipedia.org/wiki/Globularia\\_alypum](https://es.wikipedia.org/wiki/Globularia_alypum)).

**7. Умови, при яких після зняття дії шкідливого чинника середовища, формуються еволюційні сукцесії.**

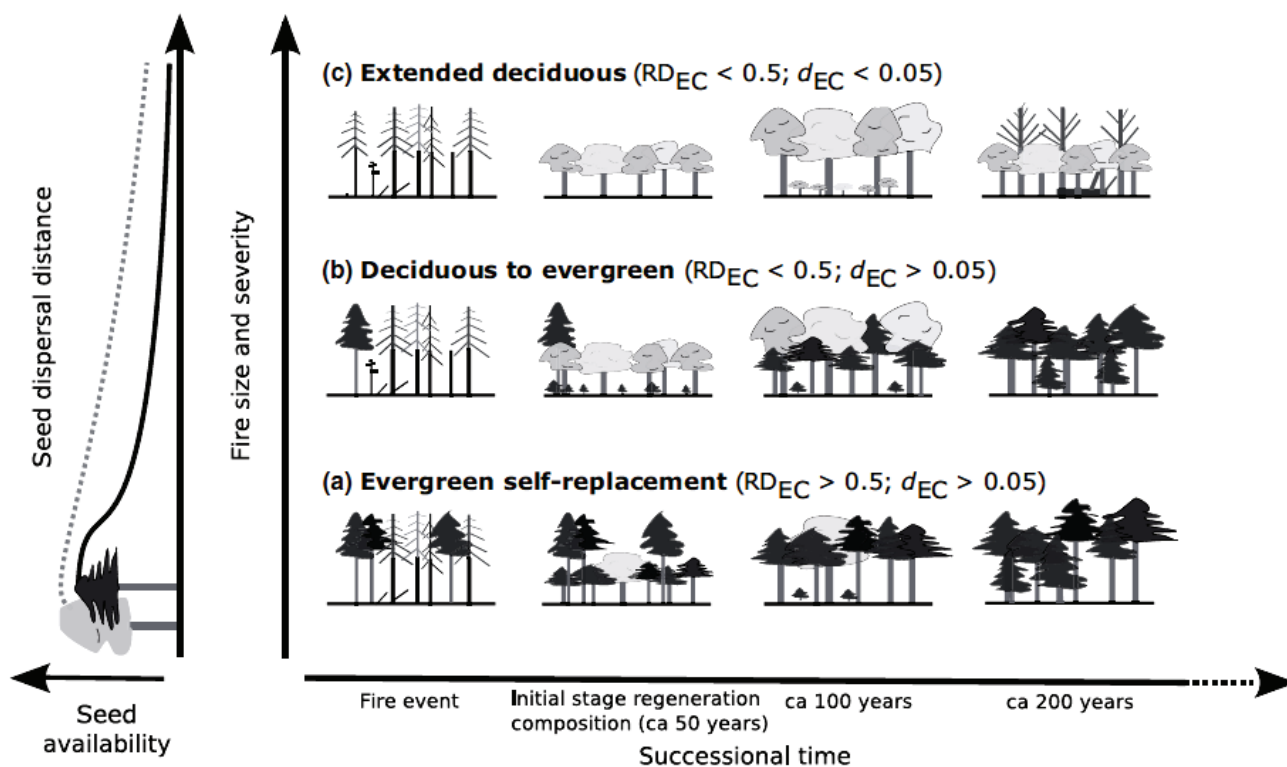
Якщо під час дії стресового чинника порушений поріг відновлюваності екосистеми - то після зняття дії стресового чинника, сукцесія стає не динамічною, а еволюційною, з іншою кінцевою клімаксною спільнотою.



Після порогових змін в екосистемах - сукцесія стає не динамічною, а еволюційною. Граничний ефект запускається комплексом взаємодій, які зумовлюють напрямки змін, що призводять до формування альтернативного стану екосистеми. На схемі пунктирними лініями вказані альтернативні стани спільноти. На початкових етапах сукцесії (1 і 2) - спільноти є подібними через ефекти розсіювання та фільтрації дії факторів навколишнього середовища (буферна ємність екосистем дозволяє їм не

виходити зі стану рівноваги при певній силі і/або тривалості зовнішнього впливу). При пороговій дії стресора (3 і 5) (при перевищенні сили і/або тривалості зовнішнього впливу) співтовариство стає неоднаковим за короткий проміжок часу. В ході подальшого розвитку сукцесії біотичні взаємодії і система зворотних зв'язків з навколишнім середовищем роблять спільноти все більше і більше різними в порівнянні з попередніми (4 і 6) (за Chang & HilleRisLambers, 2016).

Наприклад, кінцевий результат після-пожежної сукцесії лісу багато в чому визначається інтенсивністю пожежі: після інтенсивних пожеж знижується ймовірність відновлення хвойних лісів внаслідок малого рознесення насіння відповідних порід на великі відстані, що, в результаті, призводить до відновлення не вічнозелених хвойних, а листопадних широколистяних лісів (за Tautenhahn et al., 2016).



На схемі показані три варіанти розвитку пост-пірогенної сукцесії в темнохвойній тайзі: а) при невеликих пожежах та збереженні хвойних дерев відбувається самовідновлення темнохвойної тайги на згарищах; б) пожежі середньої сили, після яких практично не зберігаються дерева, - призводять на початку до відновлення листопадних дерев, як світлолюбних форм. І лише потім, під тінню їх корон розвиваються тіньовитривалі хвойні породи дерев; після змикання крон хвойних дерев - зростання світлолюбних широколистяних порід припиняється, крім того - у широколистяних дерев досить короткий середній вік життя особин; в) після дуже сильних пожеж - відновлення темнохвойної тайги на згарищах не відбувається через відсутність насіння хвойних внаслідок їх мало-дистантного розносу (за Tautenhahn et al., 2016).

На кінцевий результат пост-пірогенної сукцесії також значний вплив мають кліматичні і біотичні умови в екосистемах: зміни цих умов сприяють альтернативному розвитку сукцесії з формуванням відмінного від початкового клімаксного співтовариства. Наприклад, в Міоцені в субтропіках внаслідок посилення посух і поширення пожеж в екосистемах відбулося заміщення С3-трав на С4-трави. Відомо, що С4-трави за умов нестачі вологи і низької концентрації вуглекислого газу в повітрі – ростуть більш швидко, ніж рослини з С3-типом фотосинтезу, оскільки спроможні більш ефективно використовувати ці життєво-важливі фактори. Тому, після пожеж трави з С4-типом фотосинтезу більш швидко заселяли порушені території і поступово витіснили С3-трави з тропічних екосистем (за Osborne, 2008).

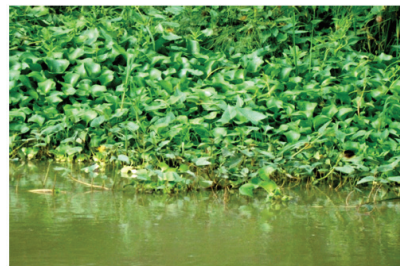
## 8. Аутосукцесії: динамічні і еволюційні.

Аутосукцесії – це процеси зміни співтовариств, що відбуваються в екосистемі в результаті її саморозвитку. Аутосукцесії можуть бути динамічними і еволюційними. Якщо в результаті саморозвитку екосистема періодично повертається до початкового стану, то в такому випадку говорять про динамічні аутосукцесії. Наприклад, нерідко спостерігається заболочування густих кедровників Сибіру, потім відбувається їх розрідження, що супроводжується зменшенням вологості і навіть виникненням в них місцевого клімату, що нагадує степовий. Такі паркові кедровники знову заростають більше густим лісовим покривом і заново починається процес заболочування (за «Гомеостаз, сукцесія и устойчивость геосистем», <http://studopedya.ru/2-671.html>).

Наприклад, занос в озеро інвазивного виду рослин - водного гіацинта - запускає в озері сукцесію, в ході якої вся поверхня озера покривається матами з водного гіацинта. Потім, на цих плавучих матах поселяються інші водні рослини. На більш пізніх стадіях сукцесії - домінуючим видом на поверхні гіацинтового мату стає рослина гіпограс (*Vossia cuspidate*), яке виростає вище водного гіацинта, затінює його і викликає його смерть. У свою чергу, загибель водного гіацинта призводить до руйнування його матів, на яких оселився вид-конкурент, а відсутність опори - викликає загибель виду-вселенця. Поодинокі особини водного гіацинта, які залишилися живими, знову гіперрозмножуються, закриваючи собою всю поверхню озера - і цикл повторюється.



Чиста популяція гіацинта водного на поверхні озера Вікторія, Східна Африка (за Gichuki et al., 2012).



На ранніх стадіях сукцесії на гіацинтний мат поселяються *Ipomoea aquatica* і *Enydra fluctuans* (за Gichuki et al., 2012).



На пізніх стадіях макрофітної сукцесії видно, що гіпограс (*Vossia cuspidate*) майже повністю замінив водний гіацинт (за Gichuki et al., 2012).



Однак, затінення гіпограсом водного гіацинта призводить до колапсу гіацинтового субстрату - і гіпограс тоне в озері. Озеро очищається і запускається знову розмноження водного гіацинта (за Gichuki et al., 2012).

Прикладом первинних еволюційних аутосукцесій - є формування екосистем на застиглих вулканічних лавах, піщаних дюнах і т.н.: від первинного заселення поверхні

бактеріями, грибами, лишайниками, мохами до встановлення складних багатокomпонентних екосистем в результаті саморозвитку вихідної примітивної екосистеми.

#### North side-glacier



#### South side-glacier



Розвиток первинної сукцесії на поверхнях, звільнених від льодовиків в наслідок потепління клімату (Кордильєри, Чилі). На голому камінні, що звільнилося від льодовика, поселяються піонерні асоціації мохів з ціанобактеріями, які забезпечують формування примітивних ґрунтів. При цьому на сухих схилах сукцесія розвивається повільніше, ніж на вологих. На фотографіях - Кордильєра Дарвіна (Чилі). Чотири репрезентативних ділянки вздовж зони північних і південних льодовиків Кордильєри Дарвіна (Чилі). Голі ділянки гір відповідають зоні поблизу фронту відступу льодовика, старіші ділянки - вже вкриті лісами з південного бука або нотофагуса (*Nothofagus* forests). На фотографіях вказані роки від початку дегляціації (за Aragóniz-Crespo et al., 2014).

**Первинна сукцесія на пісках.** Сипучі барханні піски Каракумів і інших районів Середньої Азії спочатку повністю позбавлені рослинності і постійного населення тварин. Першим на них поселяється багаторічний злак аристида, добре пристосований до життя в умовах постійного перенесення піску вітром. Коріння у цієї рослини шнуровиде, і кожен корінь укладений в чохол з зцементованих піщинок, що захищає коріння від висихання і механічного пошкодження, якщо вони виявляються на поверхні. Пагони ростуть вертикально вгору і утворюють додаткові зони кущіння вище материнського, якщо пісок засипає рослину.



Аристида (*Aristida* spp.). Представники цього роду поселяються на пісках, закріплюючи їх (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url=https](https://yandex.fr/images/search?img_url=https)).



Піщана осока (*Carex arenaria*) з'являється на пісках на наступній фазі сукцесії (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

За рахунок аристид вже можуть існувати деякі комахи, і тому на бархани починають забігати в пошуках їжі ящірки роду *Eremias*. На злегка скріплених корінням аристид пісках

отримує можливість оселитися довгокореневищна піщана осока. Вона успішно бореться з піском, швидко проростаючи крізь його наноси і пронизуючи пісок розгалуженим кореневищами на глибині 1-5 см. Покров розріджений, оскільки для забезпечення вологою однієї рослини потрібна значна площа.

Потім, на скріплених злаками і осокою пісках поселяються чагарники джужгун і білий саксаул, а також інші трав'янисті рослини, в основному ефемери: злаки, хрестоцвіті, метеликові, бурачникові і т.п. Слідом за рослинністю з'являються рослиноїдні ссавці: тонкопалий ховрах, стрибак, полуденна піщанка. Збільшується видове різноманіття комах - кормової бази ящірок: ушастої і піщаної круглоголовок, сітчастої ящірки, геконів. З'являються птахи - саксаульна сойка, дрохва-красуня, потім змії і хижі ссавці. Закріплені піски Середньої Азії відрізняються великим видовим багатством і різноманітністю життєвих форм рослин і тварин, оскільки водний режим їх досить сприятливий: піски мають здатність згущувати водяні пари в ґрунті до води (за [http://ekolog.org/books/26/10\\_4\\_2.htm](http://ekolog.org/books/26/10_4_2.htm); Н.М. Чернова, А.М. Былова Общая экология. Учебник М.: Дрофа, 2004).



На скріплених злаками і осокою пісках поселяються потім чагарники джужгуна (*Calligonum polygonoides*) (за <http://wp.wiki-wiki.ru/wp/index.php/>).

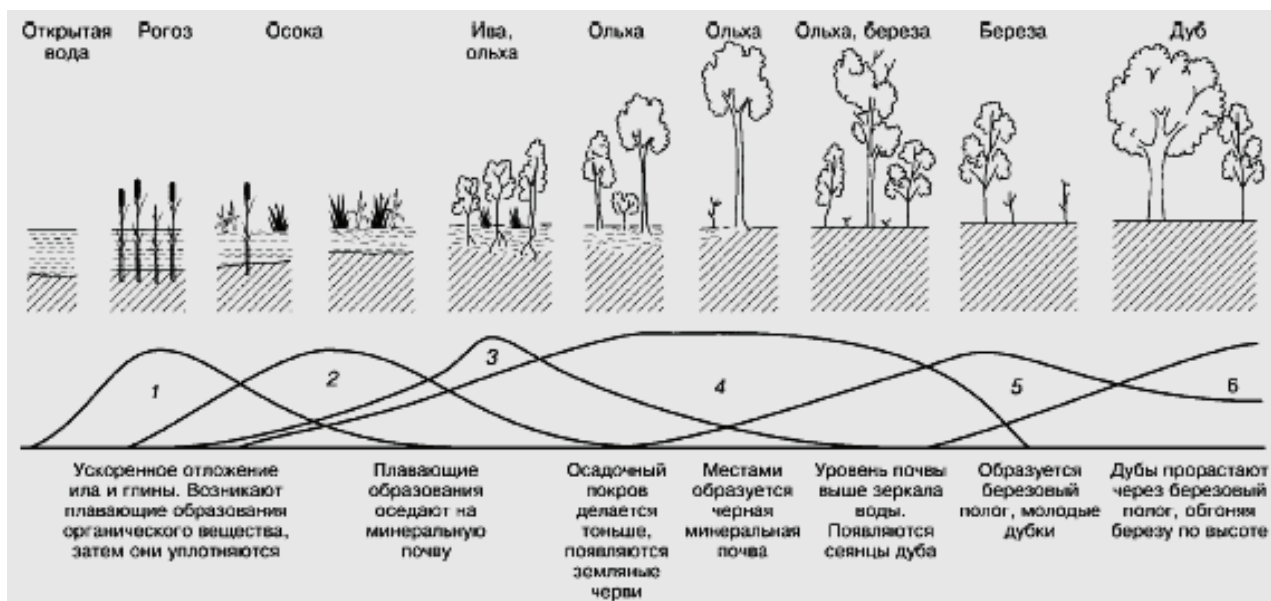


І чагарники білого саксаулу (*Haloxylon persicum*) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Первинна сукцесія на піщаних дюнах (цитовано за [http://resources.krc.karelia.ru/geobotany/doc/rozenberg/12-Dinamika\\_soobschestv-1.pdf](http://resources.krc.karelia.ru/geobotany/doc/rozenberg/12-Dinamika_soobschestv-1.pdf); Г.С. Розенберг, Динаміка спільнот: сукцесії, клімакс; Російська академія наук відділення біологічних наук Інститут екології Волзького басейну).

## Сукцесія самозарастання озера



Зміна екосистеми в ході сукцесії при самозарастанні озера. Де: 1-6 - зміна домінуючих видів рослин (за Д. Казенс, 1982; цитовано за <https://www.rea.ru/ru/org/cathedries/himfizkaf/Documents/2.7.2.>).

### 9. Наслідки втручання людини в динаміку природних процесів в геосистемах.

Наслідки втручання людини в динаміку природних процесів на прикладі штучного порушення в екосистемах динамічної рівноваги між кількістю хижаків, патогенів та їх жертв. У природних екосистемах існує динамічна рівновага між кількістю хижаків і їх жертв, а також між організмами-паразитами/патогенами і їх потенційними жертвами. Посилене розмноження організмів - потенційних жертв - сприяє розмноженню хижаків і паразитів, а перевантаження екосистеми хижаками і паразитами - сприяє зменшенню кількості організмів жертв і т.н.

Найбільш яскравим прикладом втручання людини в динаміку природних популяцій є завезення кроликів в Австралію переселенцями. Відсутність природних хижаків і патогенів призвела до гіперрозмноження кроликів, які знищили величезні площі рослинного покриву і привели до екологічної катастрофи в Австралії. І тільки штучне привнесення в популяцію кроликів їх природного патогена - вірусу мікросоми - дозволило скоротити чисельність популяції кроликів. Завезення в Австралію декоративних кактусів-опунцій за відсутності їх природних шкідників - призвело до гіперрозселення кактусів на території Австралії. Тільки завезення комах - природних шкідників кактусів - дозволило контролювати агресивне поширення даної рослини по території Австралії.



Самка кактусовой огнёвки (*Cactoblastis cactorum*) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>)



Гусениці кактусовой огнёвки, які харчуються на кактусі-опунції (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>)



Наслідки втручання людини в динаміку природних процесів на прикладі зарегулювання річкового стоку водосховищами і руйнування заплавних екосистем. Заплава - це частина річкової долини, затоплювана під час повені і паводків. Заплавні території, будучи природними геоекотонами, відрізняються незвичайно високим видовим розмаїттям. Штучне зарегулювання річкового стоку в результаті побудови водосховищ, призвело до різкого скорочення площ заплавних територій та до значної втрати видового різноманіття в даних екосистемах.



Повінь на річці Дніпро ([http://nethunter-photo.blogspot.ru/2012/04/blog-post\\_27.html?m=0](http://nethunter-photo.blogspot.ru/2012/04/blog-post_27.html?m=0)).

Наслідки втручання людини в динаміку природних процесів на прикладі зупинки природних пірогенних циклів в лісах. Аналіз літературних даних, проведений McCullough D.G. з колегами (1998), показав, що політика запобігання екосистемним пожежам, яка проводиться з 1910-х років на території США і Канади, призвела до глибоких змін в складі і в структурі видів, що формують ліси. Ці зміни призвели до підвищення уразливості лісів до пошкодження комахами-шкідниками під час спалахів їх масового розмноження. До початку активного впровадження політики недопущення пожеж - пожежні цикли становили 55 - 70 років. Однак, починаючи з 1911 року, їх тривалість різко зросла. Так, на території Канади до 1900-х рр. природні пожежні цикли становили 60-100 років. Політика запобігання пожеж збільшила періодичність виникнення пожеж до 500 - 1000 років.

Відсутність пожеж призвела до того, що в деяких соснових лісах щільність стояння дерев зросла з 9 до більш ніж 300 дерев на гектар на сьогоднішній день. Внаслідок цього - зросла ступінь закриття поверхні куполом лісу (затінення). Крім того, збільшився шар підстилки, було виявлено зменшення видового різноманіття лісів з накопиченням ялиці Дугласа, білої ялини та ін. порід, яким надають перевагу комахи шкідники місцевих лісів (зокрема, *Choristoneura occidentalis*).



Сосна жовта (*Pinus ponderosa* subsp. *Ponderosa*) (за [https://en.wikipedia.org/wiki/Pinus\\_ponderosa](https://en.wikipedia.org/wiki/Pinus_ponderosa)).



Ялиця Дугласа (*Pseudotsuga menziesii*) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Ці види хвойних є більш тіньовитривалими, в порівнянні з іншими видами, наприклад, з сосною жовтою (*Pinus ponderosa*), видом, який домінував в лісах Північної Америки при циклічних екосистемних пожежах.

Накопичення старого деревостою знизило смертність личинок комах шкідників. Домінування в лісах дерев видів-хазяїв і зниження смертності личинок шкідників призвело до збільшення синхронності і тривалості спалахів розмноження західної хвоєвертки, підвищилася смертність дерев до 80% (такий рівень смертності від шкідників ніколи не спостерігався в екосистемах з циклічними пожежами) (за McCullough et al., 1998).



Західна хвоєвертка (*Choristoneura occidentalis* Freem) (за <http://mothphotographersgroup.msstate.edu/species.php?ho>).

Симптоми ушкоджень дерев західною хвоєверткою: мінування хвої, бруньок, молодих пагонів, повне їх всихання, наявність павутини і бурового борошна в місцях присутності гусениць шкідника (за [https://vniikr.ru/files/spravochnik/Perchen%20KBO/Inform\\_o\\_KVO/Choristoneura%20occidentalis.pdf](https://vniikr.ru/files/spravochnik/Perchen%20KBO/Inform_o_KVO/Choristoneura%20occidentalis.pdf)).



Яйцекладка і гусениці західної хвоєвертки. Пошкодження дерев (за [https://caps.ceris.purdue.edu/webfm\\_send](https://caps.ceris.purdue.edu/webfm_send)).

### Контрольні питання:

1. Динаміка геосистем.
2. Еволюція геосистем.
3. Дослідження сукцесійних змін в екосистемах. Методи прискорення та гальмування сукцесій.
4. Регулювання швидкості ландшафтної сукцесії.
5. Приклади кліматичних сукцесійних змін в сучасних та в палеоекосистемах.
6. Динамічні сукцесії відновлення екосистем після катастрофічних впливів.
7. Умови, за яких пост-катастрофічні сукцесії стають еволюційними, а не динамічними.
8. Динамічні ауто-сукцесії.
9. Еволюційні ауто-сукцесії.
10. Наслідки втручання людини в динаміку природних процесів в геосистемах.

### Література:

1. Тішков А.А. Географічні закономірності природних і антропогенних сукцесій. Дисертація у формі доповіді на здобуття вченого ступеня доктора географічних наук. –М.: Інститут географії РАН, 1994. – 81 с.
2. Сукцесії і біологічний круговорот /А.А. Тітлянова, Н.А. Афанасьєв, Н.Б. Наумов і ін. –Новосибірськ: У «Наука». Сибірська видавнича фірма, 1993. – 157 с.
3. Стан біорізноманітності природних екосистем Росії / Під ред. В.А. Орлова і А.А.Тішкова. М.: НІА. – Природа, 2004. - 116 с.
4. Arróniz-Crespo M., Pérez-Ortega S., De Los Ríos A., Green T.G., Ochoa-Hueso R. et al. Bryophyte-cyanobacteria associations during primary succession in recently Deglaciated areas of Tierra del Fuego (Chile) // PLoS One. – 2014. – Vol. 9(5):e96081. doi: 10.1371/journal.pone.0096081.
5. Carnicer J., Barbeta A., Sperlich D., Coll M., Peñuelas J. Contrasting trait syndromes in angiosperms and conifers are associated with different responses of tree growth to temperature on a large scale // Front Plant Sci. – 2013. – Vol. 4:409. doi: 10.3389/fpls.2013.00409.

6. Chang C., HilleRisLambers J. Integrating succession and community assembly perspectives // *F1000Res.* – 2016. – Vol. 5. pii: F1000 Faculty Rev-2294.
7. Franklin J., Serra-Diaz J.M., Syphard A.D., Regan H.M. Global change and terrestrial plant community dynamics // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2016. – Vol. 113(14). – P. 3725 - 3734. doi: 10.1073/pnas.1519911113.
8. Gichuki J., Omondi R., Boera P., Okorut T., Matano A.S., Jembe T., Ofulla A. Water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach dynamics and succession in the Nyanza Gulf of Lake Victoria (east Africa): implications for water quality and biodiversity conservation // *Scientific World Journal.* – 2012. – Vol. 106429. doi: 10.1100/2012/106429.
9. Harrison S.P., Gornish E.S., Copeland S. Climate-driven diversity loss in a grassland community // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2015. – Vol. 112(28). – P. 8672 - 8677. doi: 10.1073/pnas.1502074112.
10. Heckenroth A., Rabier J., Dutoit T., Torre F., Prudent P., Laffont-Schwob I. Selection of native plants with phytoremediation potential for highly contaminated Mediterranean soil restoration: Tools for a non-destructive and integrative approach // *J. Environ. Manage.* – 2016. – Vol. 183(Pt 3). – P. 850 - 863. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.09.029.
11. Jeffers E.S., Bonsall M.B., Willis K.J. Stability in ecosystem functioning across a climatic threshold and contrasting forest regimes // *PLoS One.* – 2011. – Vol. 18. – P. 6(1):e16134. doi: 10.1371/journal.pone.0016134.
12. Lu P.L., DeLay J.K. Vegetation and fire in lowland dry forest at Wa'ahila Ridge on O'ahu, Hawaii // *PhytoKeys.* – 2016. – Vol. 68. – P. 51 - 64.
13. McCullough D.G., Werner R.A., Neumann D. Fire and insects in northern and boreal forest ecosystems of North America // *Annu. Rev. Entomol.* – 1998. – Vol. 43. – P. 107 - 127.
14. Osborne C.P. Atmosphere, ecology and evolution: what drove the Miocene expansion of C(4) grasslands? // *J. Ecol.* – 2008. – Vol. 96(1). – P. 35 - 45.
15. Podadera D.S., Engel V.L., Parrotta J.A., Machado D.L., Sato L.M., Durigan G. Influence of Removal of a Non-native Tree Species *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. on the Regenerating Plant Communities in a Tropical Semideciduous Forest Under Restoration in Brazil // *Environ Manage.* – 2015. – Vol. 56(5). – P. 1148 - 1158. doi: 10.1007/s00267-015-0560-7.
16. Stalter R., Kincaid D. Community development following gamma radiation at a pine-oak forest, Brookhaven National Laboratory, Long Island, New York // *Am. J. Bot.* - 2009 – Vol. 96(12). – P. 2206 - 2213. doi: 10.3732/ajb.0800418.
17. Tautenhahn S., Lichstein J.W., Jung M., Kattge J., Bohlman S.A., Heilmeyer H., Prokushkin A., Kahl A., Wirth C. Dispersal limitation drives successional pathways in Central Siberian forests under current and intensified fire regimes // *Glob. Chang. Biol.* – 2016. – Vol. 22(6). – P. 2178 - 2197. doi: 10.1111/gcb.13181.

**Частина 1. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень**  
**(цитовано за Гродзинський, 1993)**

**1. Поняття «стійкість геосистем».**

Стійкість геосистеми - це здатність геосистеми при впливі зовнішніх факторів зберігати свій стан в певних межах незмінним, а також повертатися в початковий стан після зняття дії зовнішніх чинників.

Виділяють три форми стійкості геосистем до антропогенних навантажень:

1. **Інертність геосистеми** - це здатність геосистеми при впливі зовнішніх факторів зберігати свій початковий стан протягом певного часу незмінним. Інертність геосистеми залежить від інертності її геокомпонентів: повітря, води, підстелюючих гірських порід, ґрунтів, біоти. Наприклад, деякі типи гірських порід є більш стійкими до дії зовнішніх чинників - граніти, базальти, і є гірські породи - менш стійкі до дії зовнішніх чинників - вапняки, пісковики і т.п.

2. **Пластичність геосистеми** - це здатність геосистеми підлаштовуватися під зовнішній стресор в рамках існуючої геосистеми. В цілому, пластичність геосистеми визначається пластичністю її геокомпонентів. Наприклад, під час тривалого підвищення рівня високомінералізованих ґрунтових вод сіроземи деградують швидше порівняно з чорноземами, оскільки чорноземи мають більш високий вміст гумінових кислот, які адсорбують надлишок іонів і таким чином захищають чорноземи від деградації. Найбільшу пластичність має такий геокомпонент, як біота. При зміні зовнішніх умов підстроювання живих організмів до нових умов навколишнього середовища відбувається на рівні змін: чисельності особин в популяції, життєвої стратегії організмів, фенотипу і параметрів функціонування живого організму.

3. **Відновлюваність геосистеми** - це здатність геосистеми після зняття зовнішнього впливу повертатися в початковий стан. Відновлюваність геосистеми залежить від відновлюваності її геокомпонентів і від здатності геосистеми до самоочищення. Відновлення підстелюючих гірських порід і форм рельєфу зазвичай не відбувається. При збереженні складу підстелюючих гірських порід і форм рельєфу, лімітуючим фактором відновлення геосистеми є відновлення біоти і ґрунтів, яке відбувається через відповідні сукцесійні ряди.

**2. Поняття відмови геосистеми.**

Відмова геосистеми - це вихід геосистеми з рівноваги під дією зовнішнього чинника. Залежно від того, який показник геосистеми виходить зі стану рівноваги, виділяють наступні типи відмов геосистем:

Тип відмови геосистеми:	Відповідний тип геосистеми:
es – площинна ерозія (змив ґрунтів); el – лінійна ерозія (поява борозен ерозії);	E - водно-ерозійні геосистеми
df - дефляція (видування) ґрунтів;	D - дефляційні геосистеми
h - підняття рівня ґрунтових вод;	H - гідроморфні геосистеми
g - поява солей в ґрунті;	G - галоморфні геосистеми
a - осолонцювання (залуговування) ґрунтів;	A - алкіломорфні геосистеми
gg - поява селів, зсувів, осипання;	GG - гравігенні геосистеми
dt - зменшення вмісту поживних речовин в ґрунтах	DT - детрофікаційні геосистеми

Для оцінки рівня стійкості геосистеми зазвичай використовують арабські цифри:

1 - практично стійкі геосистеми; 2 - відносно стійкі геосистеми; 3 - слабостійкі геосистеми; 4 - нестійкі геосистеми; 5 - дуже нестійкі геосистеми.

Таким чином, згідно з міжнародною номенклатурою, абрєвіатура на ландшафтній карті буде означати наступне: E-GG-5 - водно-ерозійна гравігенна дуже нестійка геосистема; D-3 - дефляційна слабостійка геосистема і т.н.

### 3. Методи кількісної оцінки стійкості геосистем до антропогенних навантажень.

Кількісна оцінка стійкості геосистем проводиться за наступними показниками:

1) вірогідність відмови геосистеми: 
$$q_{i(\Delta t)} = \frac{n_{i(\Delta t)}}{N}$$

де:  $q_{i(\Delta t)}$  – вірогідність відмови геосистеми за  $i$ -ознакою за час  $\Delta t$ ;  $n_{i(\Delta t)}$  – кількість виявлених геосистем з  $i$ -відмовою за час  $\Delta t$ ;  $N$  – загальна кількість обстежених геосистем.

2) вірогідність не відмови геосистеми:

$$p_{i(\Delta t)} = 1 - q_{i(\Delta t)}$$

де:  $p_{i(\Delta t)}$  – вірогідність невідмови геосистеми за  $i$ -ознакою за час  $\Delta t$ ;  $q_{i(\Delta t)}$  – вірогідність відмови геосистеми за  $i$ -ознакою за час  $\Delta t$ .

3) вірогідність заміни однієї геосистеми на іншу – розраховують шляхом множення вірогідностей відмов за одними ознаками і невідмов за іншими ознаками в геосистемі.

Наприклад, обстеження зрошуваних територій в пониззях річки Дністр через 11 років після початку зрошення, показало наступне: з 100 плоскорівнинних урочищ типу  $P_1$  – в 40 урочищах розпочалось осолонцювання ґрунтів, в 10 урочищах – засолення ґрунтів і в 20 урочищах – підтоплення територій. За формулою № 1 розраховується вірогідність появи відмов різного типу в геосистемах і отримані дані заносять до таблиці А:

Таблиця А.

Тип вихідної геосистеми	Вірогідність появи відмов різного типу в геосистемах після 11 років експлуатації:			
	відмова осолонцювання, а	відмова засолення, g	відмова підтоплення, h	відмова ерозії ґрунтів, es, el
Плоскорівнинні урочища, $P_1$	0,4	0,1	0,2	0

На наступному етапі розраховують вірогідність заміни однієї геосистеми на іншу – шляхом множення вірогідностей відмов в геосистемі за одними ознаками і невідмов за іншими ознаками.

Наприклад,

1) Вірогідність збереження геосистем типу  $P_1$  незмінними буде дорівнювати множенню вірогідностей невідмов геосистем типу  $P_1$  за усіма ознаками:

$$P_1 \rightarrow P_1 = (1 - 0,4) \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,2) = 0,43$$

2) Вірогідність заміни геосистеми  $P_1$  на геосистему  $P_2$  (з осолонцюванням ґрунтів) дорівнює множенню вірогідностей відмов по осолонцюванню на невідмови за усіма іншими параметрами:

$$P_1 \rightarrow P_2 = 0,4 \cdot (1 - 0,1) \cdot (1 - 0,2) = 0,29$$

3) Вірогідність заміни геосистеми  $P_1$  на геосистему  $P_3$  (з засоленням ґрунтів) дорівнює множенню вірогідностей відмов геосистем за засоленням на невідмови за усіма іншими параметрами:

$$P_1 \rightarrow P_3 = 0,1 \cdot (1 - 0,4) \cdot (1 - 0,2) = 0,05$$

4) Вірогідність заміни геосистеми  $P_1$  на геосистему  $P_4$  (з засоленням ґрунтів і підтопленням територій) дорівнює множенню вірогідностей відмов геосистем за засоленням і підтопленням на невідмови за іншими параметрами:

$$P_1 \rightarrow P_4 = 0,1 \cdot 0,2 \cdot (1 - 0,4) = 0,01$$

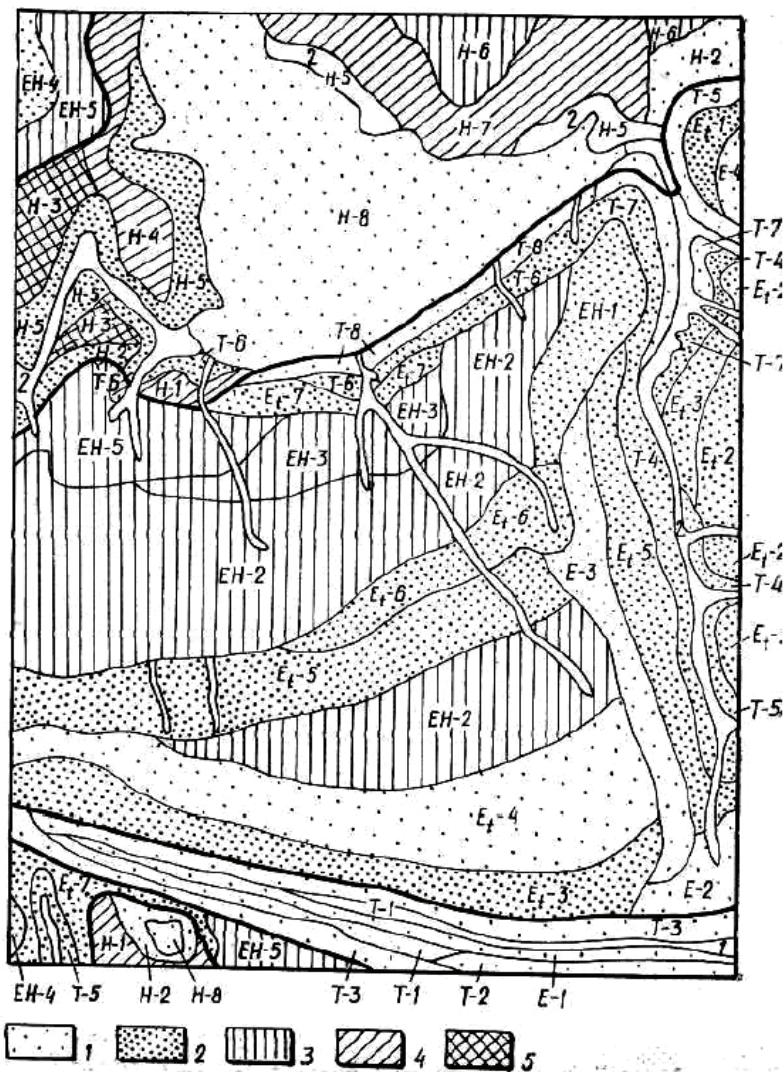
5) Вірогідність заміни геосистеми  $P_1$  на геосистему  $P_5$  (з засоленням, підтопленням і осолонцюванням ґрунтів) дорівнює множенню вірогідностей відмови геосистем за усіма цими ознаками:

$$P_1 \rightarrow P_5 = 0,4 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,01$$

Отримані дані заносять до таблиці Б.

Таблиця Б. Матриця вірогідностей заміни однієї геосистеми на іншу:

Тип геосистеми:	P <sub>1</sub> - - вихідні плато- рівнинні урочища	P <sub>2</sub> - - урочища з осолонцю- ванням	P <sub>3</sub> - - урочища з засоленням	P <sub>4</sub> - - урочища з засоленням і підтопленням	P <sub>5</sub> - - урочища з засоленням, підтопленням і осолонцюванням
P <sub>1</sub> – вихідні плато- рівнинні урочища	0,43	0,29	0,05	0,01	0,01



Ймовірність виникнення за 20 років відмови у вигляді засолення геосистем (критерій – перехід ґрунту в категорію більшої засоленості). Ймовірності відмов: 1 – 0; 2 – 0,10-0,20; 3 – 0,21 – 0,40; 4 – 0,41-0,60; 5 – 0,61-0,80 (цитовано за Гродзинський, 1993).

Спеціальні комп'ютерні програми дозволяють на підставі експериментальних даних отриманих через 11 років після початку зрошення територій спрогнозувати вірогідність заміни одного типу геосистем на інший через проміжок часу, кратний 11 рокам, т.т. через 22, 33, 44, 55 років і т.п. після початку зрошення територій.

В цілому, оцінка вірогідностей заміни геосистеми одного типу на геосистеми інших типів є важливою в ситуації, коли дослідник не має можливості отримати емпіричні експериментальні дані - зокрема, при підготовці довгострокових прогнозів впливу антропогенних навантажень на геосистеми.



Гродзинський Михайло Дмитрович (1957 р.н.) – український географ-ландшафтознавець.

М.Д. Гродзинський обґрунтував концепцію множинності форм стійкості ландшафтів та систему показників її кількісного оцінювання. На основі цієї концепції з'ясовані механізми забезпечення та порушення стійкості геосистем, ландшафтних територіальних структур різних типів та ландшафтних меж і екотонів.

Ним розроблені: метод ландшафтно-екологічного прогнозування на основі матриць Маркова, методи визначення допустимих норм антропогенних навантажень на ландшафти та екосистеми, критерії та методи визначення ступеня критичності станів ландшафтів, оцінки імовірності та втрат від екологічних ризиків (за <http://www.geo.univ.kiev.ua/uk/nash-fakultet/personaliji/135-grodzinskij-mikhajlo-dmitrovich.html>).

## Частина 2. Стійкість до антропогенних навантажень перехідних територій між природною і господарською підсистемами

### 1. Поняття геоекотона (за Исаченко, 1991).

Геоекотон - це перехідна зона між двома геосистемами. У геоекотонах поєднуються кліматичні, ґрунтові, біотичні характеристики сусідніх геосистем. Крім того, в геоекотонній зоні внаслідок більш контрастних умов можлива поява нових типів організмів, ґрунтів не характерних для сусідніх геосистем.

Рівень нестабільності геоекотонних територій визначається контрастністю умов в суміжних геосистемах. Кількісно, контрастність перехідної території між суміжними геосистемами розраховується за наступною формулою:  $K_{ab} = \frac{D_{ab}}{l_{ab}}$

де:  $K_{ab}$  – контрастність перехідної території між двома суміжними геосистемами а і b,  $D_{ab}$  – дистанційний коефіцієнт між геосистемами а і b,  $l_{ab}$  – ширина перехідної території між геосистемами а і b.

Дистанційний коефіцієнт – це сума відмінностей між геосистемами за температурою, зволоженням, складу біоти, ґрунтів і т.п. Дистанційний коефіцієнт розраховується за формулою:

$$D_{ab} = \sum a_i \cdot \frac{(x_{ai} - x_{bi})^2}{(x_{ai} + x_{bi})}$$

де:  $D_{ab}$  - дистанційний коефіцієнт між геосистемами а і b;  $a_i$  – коефіцієнт, який визначає рівень значення даного фактору для функціонування геосистем а і b;  $x_{ai}$  і  $x_{bi}$  – значення параметру і для геосистем а і b, відповідно.

Наприклад, величина дистанційного коефіцієнту між Лужсько-Оредежським (I) і Жорським (II) ландшафтами розраховується наступним чином (первинні дані наведені у таблиці 1; коефіцієнт  $a_i$  - значення даного фактору для функціонування геосистем - дорівнює 1):

$$D_{I-II} = (1672 - 1585 / 1672 + 1585)^2 + (757 - 708 / 757 + 708)^2 = \dots$$

Таблиця 1. Порівняльні кліматичні характеристики ландшафтів (за Исаченко, 1991).

Ландшафт	Пункт спостереження	Температура °С			Річна сума активних температур	Безморозний період, дні	Річна сума опадів
		січень	липень	мін			
I. Лужсько-Оредежський	Білогорка	-8,7	+16,7	-43	1672	126	708
II. Іжорський	Волосово	-8,8	+16,3	-42	1585	117	757

## **2. Техногенні геоекотонні зони.**

Між господарським об'єктом і природною системою завжди формується прикордонна геоекотонна зона, яка характеризується більшою варіабельністю умов в порівнянні з вихідною природною територією (тому що господарський об'єкт змінює мікро- і мезоформи рельєфу, хімічний склад води, повітря, ґрунтів – і, як наслідок, місцеві кліматичні і ґрунтові умови).

Небезпека виникнення техногенних геоекотонів в межах природних геосистем полягає в тому, що контрастні умови формуються на стабільній природній території, яка еволюційно не пристосована до такої мінливості зовнішніх умов. Таким чином, функціонування господарського об'єкта може спровокувати появу відмов у прикордонній геоекотонній зоні (тобто до виходу цієї зони зі стану рівноваги, а при тривалій дії стресора - і до заміни існуючого типу геосистеми на інший).

Проте, ще більш небезпечним є накладання техногенних геоекотонів на природні геоекотонні зони: техногенне навантаження на природно нестабільну зону може стати тим критичним фактором, в наслідок дії якого природна геоекотонна зона вийде зі стану динамічної рівноваги, що може призвести до зміни типу геоекотонної зони, або – до її руйнування.

## **3. Геосистеми-агресори і геосистеми-донори (цитовано за Гродзинським, 1993).**

До явища територіальної агресії відносять: ріст ярів, руйнування берегової смуги зсувами і розмивання водою, наступ пустель, наступ боліт на ліси і навпаки, відкладання сільових, вулканічних, річкових та інш. наносів на територію геосистеми-донора, розповсюдження техногенних геоекотонів внаслідок явища геоекологічної трансмісії.

Для кількісної оцінки інтенсивності переміщень між геосистемами-агресорами і геосистемами-донорами використовується модифікована формула Ч. Мак-Джилкрайста:

$$K_{i \rightarrow j} = 0,5 \cdot (S_{i1} - S_{i0} + 0,5 \cdot (S_{j1} - S_{j0}))$$

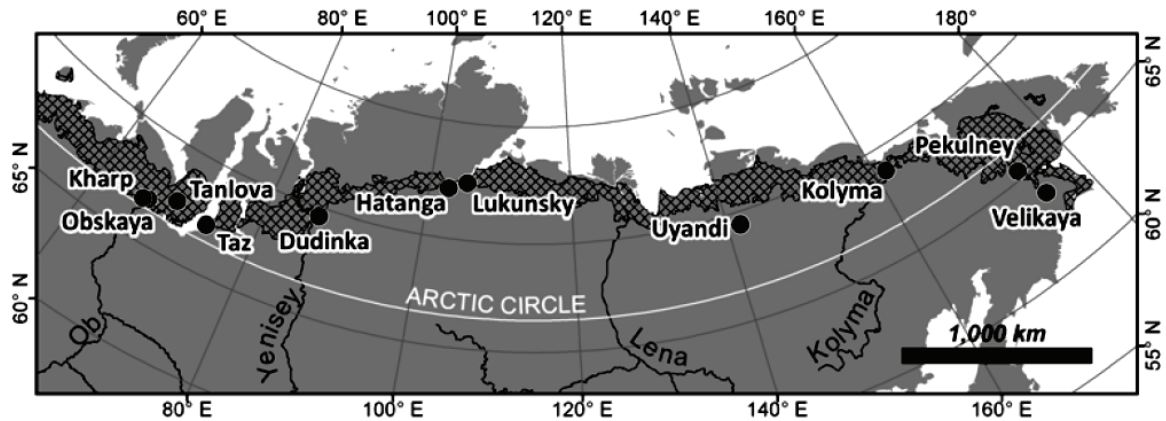
де:  $K_{i \rightarrow j}$  – показник територіального тиску геосистеми і на геосистему j;  $S_{i0}$  і  $S_{j0}$  – площі геосистем і і j в початковий момент часу;  $S_{i1}$  і  $S_{j1}$  – площі геосистем і і j через певний проміжок часу.

**4. Рухливість геоекотонних зон.** Геоекотонні зони відрізняються в багатьох випадках дуже високою динамічністю: зміна умов навколишнього середовища призводить до наступу однієї геосистеми на іншу з відповідним зрушенням геоекотонних зон. Так, на торфовищах Західного Сибіру було показано, що останнім часом через зміни клімату та зниження рівня води відбувається наступ заліснених торфовищ на торфовища з відкритими болотами (за Ratcliffe et al., 2017).

Наприклад, сьогодні в Сибіру в зоні Арктичної тундри відбувається інтенсивне вселення високих чагарників і дерев в тундру, що розширює геоекотонну зону між тундрою і тайгою. Вважають, що причиною цього є глобальне потепління клімату. Дослідження, проведені Frost G.V. і Epstein H.E. (2014), показали, що з середини 1960-х середні літні

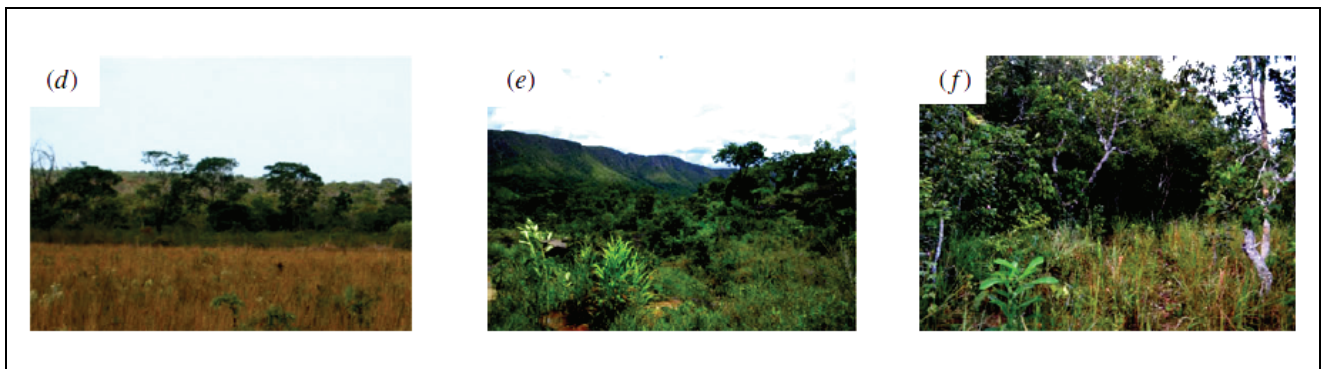


температури збільшилися в більшості тайгово-тундрових геоекотонів Сибіру; проте, темпи розширення присутності чагарників і дерев краще корелювали із середніми річними опадами, ніж з ростом температур на обстежених геоекотонних територіях (за Frost & Epstein, 2014).



Найбільший в світі лісотундровий геоекотонний пояс між тайгою і тундрою в Сибіру (за Frost & Epstein, 2014).

Наприклад, розташування транзитної зони між тропічним лісом і саваною визначається доступністю води для рослин, режимом пожеж, тиском рослинодних тварин і просторовою варіабельністю складу ґрунтів. Цей екотон – є чутливим до кліматичних та інших змін і стабілізується негативними зворотніми зв'язками.



Приклади перехідних зон між тропічним лісом і саваною на території Бразилії (за Oliveras & Malhi, 2016).

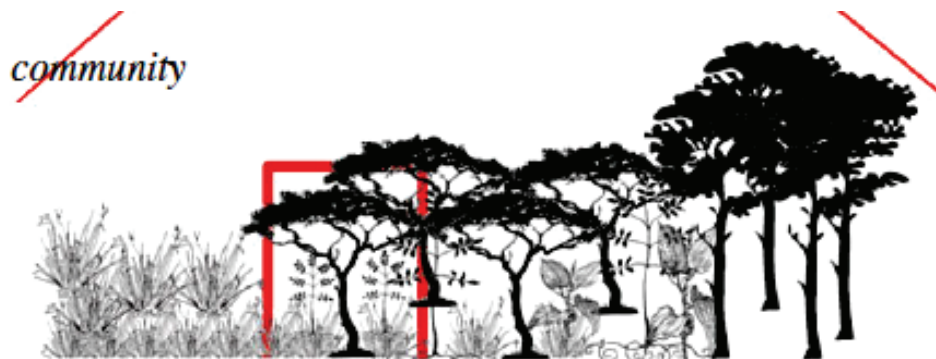
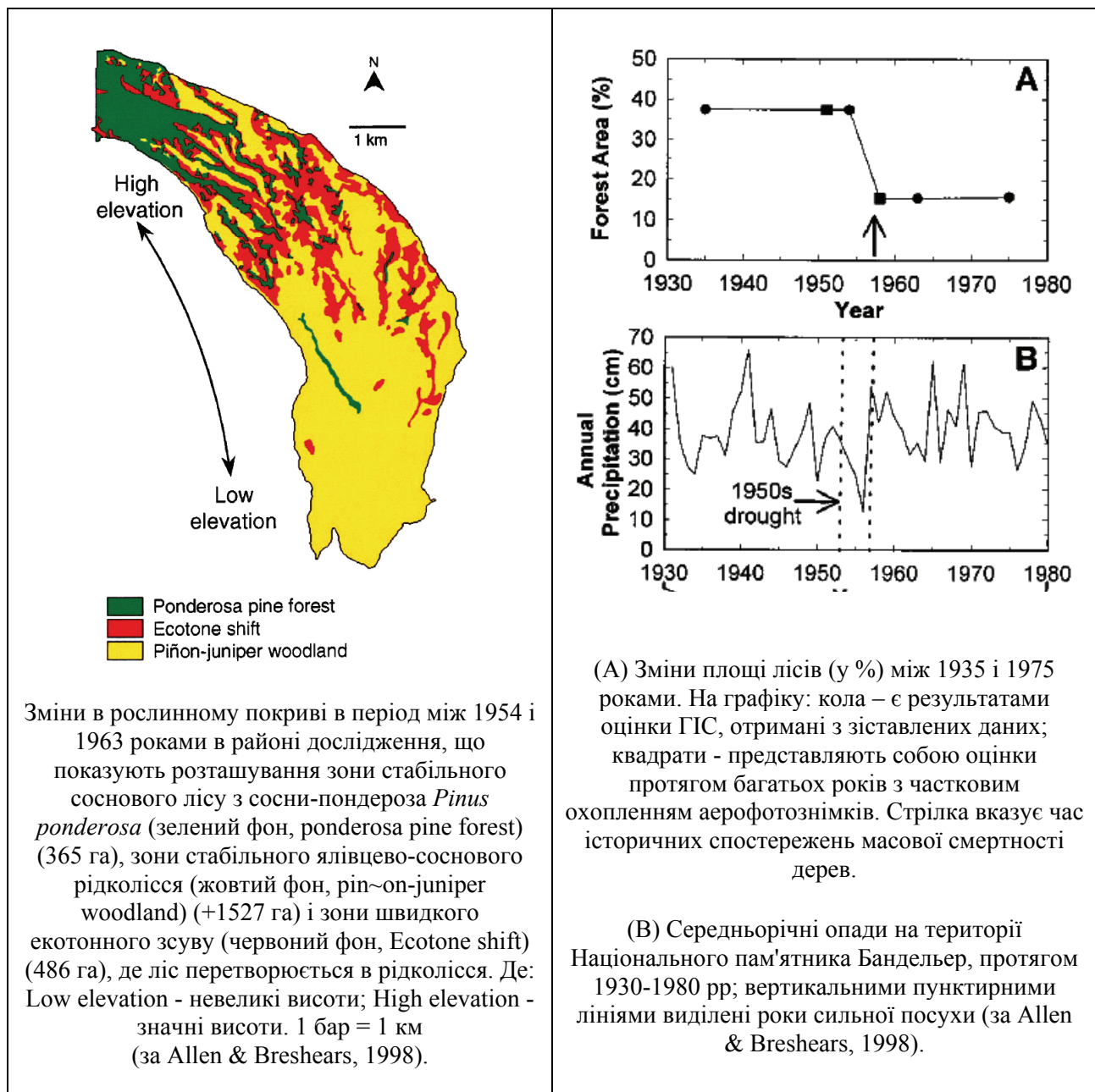


Схема будови геоекотона між тропічним лісом і саваною (за Oliveras & Malhi, 2016).

**5. Вплив зміни клімату і антропогенного регулювання екосистемних пожеж на динаміку геоекотонних зон.** В роботі Allen C.D. і Breshears D.D. (1998) був показаний

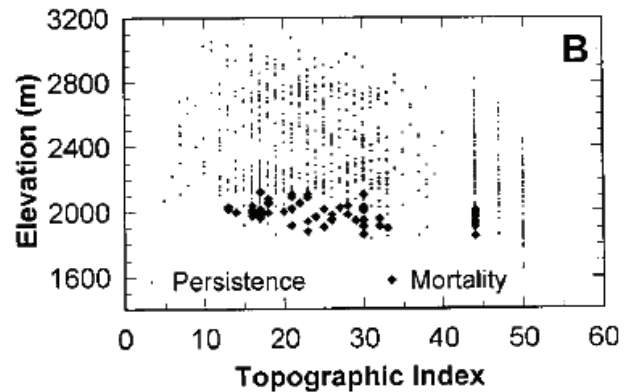
швидкий зсув ландшафтного екотона: в північній частині Нью-Мексико в 1950-х роках екотон між напівпосушливими сосновими лісами сосни жовтої або пондерози (*Pinus ponderosa*) і сосново-ялівцевим рідколіссям (*Pinus edulis* і *Juniperus monosperma*) сильно і швидко (на 2 км і більше менше, ніж за 5 років) змістився через смертність сосен пондероза у відповідь на значну посуху.

Слід зазначити, що через посуху постраждали також і сосново-ялівцеві рідколісся. Однак, смертність дерев цих видів не була такою масовою, як сосни пондероза. Причина полягає в тому, що через політику обмеження лісових пожеж - в цих лісах багато років були відсутні вигорання, що сприяло збереженню личинок шкідливих для сосни пондероза жуків-короїдів. Засухи послабили дерева сосни і вони не змогли чинити опір масованій атаці жуків, що і викликало масову загибель соснових лісів і їх відступ. Цей зсув зберігається вже протягом більше 40 років. У зоні екотонного зсуву лісові ділянки стали набагато більш фрагментарними і значно прискорилося ерозія ґрунтів. Виявлений швидкий і постійний рух екотону вказує на необхідність враховувати фактор смертності біоти в оцінках наслідків зміни клімату (за Allen & Breshears, 1998).





*Pinus ponderosa* (за <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id60686/?taxonid=2334>).



Результати польових спостережень стійкості і смертності сосен пондероза *Pinus ponderosa* в залежності від висоти і топографічного положення території їх зростання. Де: persistence - стійке зростання сосен; mortality - смертність сосен пондероза; Elevation (m) - висота, м; Topographic Index - топографічний індекс положення сосен пондероза на території їх зростання. Індокси топографічних позицій варіювалися від невеликих значень для виставлених рельєфів до великих значень для закритих долин. На більшості топографічних позицій смертність була найбільшою на більш низьких позначках (за Allen & Breshears, 1998).

**6. Екологічна небезпека накладання антропогенних геоекотонів на природні геоекотонні системи.** Організація господарської діяльності завжди супроводжується формуванням техногенного геоекотона на кордоні природної і господарської систем. Якщо при цьому природна геосистема є природним геоекотоном, то додаткове екотонне навантаження посилює нестабільність природної геосистеми і може привести до більш швидкого порушення і деградації природної системи в порівнянні з техногенними геоекотонами в стабільних геосистемах.

Наприклад, геоекотон дощові ліси - савана на північному заході Бразилії в басейні річки Арагуая представлений сезонними водно-болотними угіддями з високим видовим розмаїттям біоти.



Водно-болотні угіддя з дощовими лісами вздовж берегів річки Арагуая в Бразилії (за <https://yandex.fr/images/search?text=wetlands>).

Цей регіон є представником тропічних волого-сухих екотонних зон, які відчувають додаткове екологічне навантаження, пов'язане з інтенсивним землекористуванням і конверсією земельного покриву. García A.S. з колегами (2017) було встановлено, що за

останні чотири десятиліття в центральній частині басейну річки Арагуая присутність природної рослинності знизилася на 26%. Ліси екотонної зони були пошкоджені фізіономічно (за зовнішніми морфологічними параметрами) зі значним скороченням ареалу і фрагментацією. Нативний рослинний покрив на багатьох ділянках був замінений орними землями і пасовищами. Garcia A.S. з колегами (2017) підкреслюють, що райони, які охороняються, пом'якшили фрагментацію лісів, викликану господарською діяльністю людини (за Garcia et al., 2017).

**7. Фактори, які впливають на здатність біоти батьківських геосистем, вселятися в екотонну зону.** Не кожен вид батьківських геосистем може адаптуватися до перехідних умов геоекотонної зони. При цьому значення мають як особливості абіотичних умов в геоекотоні, в порівнянні з умовами в батьківській геосистемі, так і вплив біотичних взаємодій: в геоекотоні поселяються представники видів обох геосистем, що може стати однією з причин, що ускладнюють вселення та подальшу адаптацію батьківських видів в геоекотонній зоні.

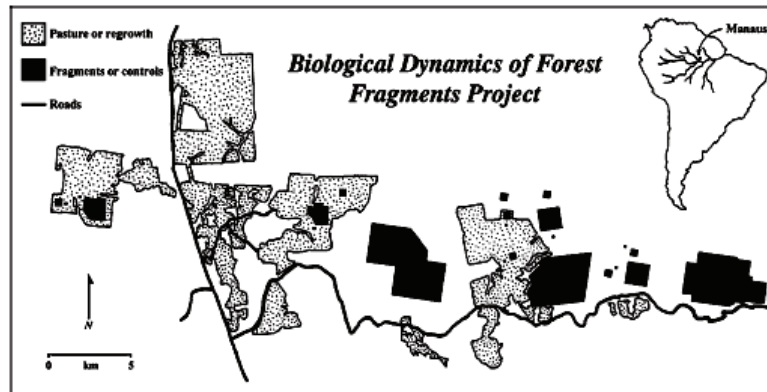
Наприклад, дослідження, проведені Tingstad L. з колегами (2015), показали, що в геоекотоні «гірський ліс - альпійські луки» для поширення дерев в субальпійських екосистемах ключовим моментом не є абіотичні фактори (зокрема, низька температура), а - абіотичні взаємодії в екотонній зоні.

Згідно з однією з існуючих гіпотез, в сприятливих кліматичних умовах - основним напрямком біотичних взаємодій є конкуренція, тоді як в несприятливих стресових умовах (наприклад, малокомфортні температура і вологість) - основним типом біотичних взаємодій є співпраця. Однак, експериментальні дослідження, проведені авторами роботи, спростували цю гіпотезу: на півдні Норвегії в альпійському геоекотоні проростання і розвиток насіння хвойних - сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) та ялини норвезької (*Picea abies* L.) (це види-домінанти лісових екосистем бореальної зони Євразії і види - нативні для Норвегії) обмежуються не абіотичними несприятливими низькими температурами, а - біотичними взаємодіями в екосистемі.

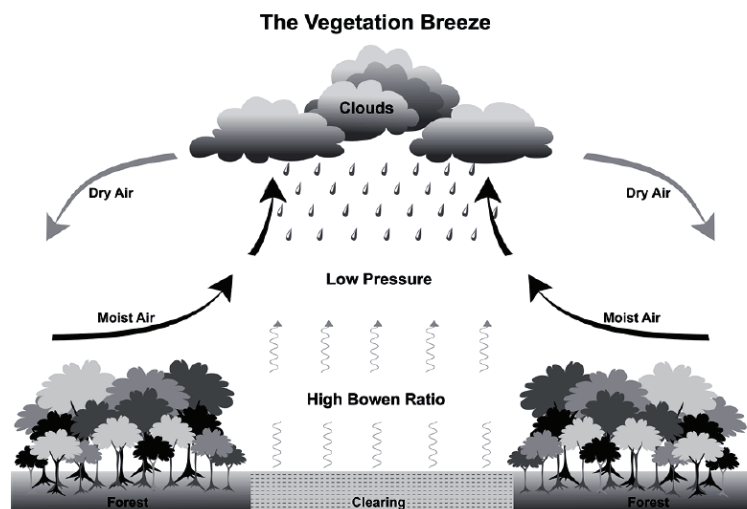
\*NB! В ході експерименту, Tingstad L. з колегами (2015) висівали насіння хвойних рослин на ділянках з рослинністю і на ділянках, звільнених від рослинності. Для вивчення комбінованих ефектів температури і опадів експеримент був відтворений на 12 ділянках, які охоплювали природний кліматичний градієнт від бореального до альпійського і від субконтинентального до океанічного. Появу і виживання саджанців оцінювали через 12 і 16 місяців після посіву, відповідно, крім того, в кінці експерименту оцінювали величину надземної біомаси і висоти проростків. В результаті проведених досліджень на бореальних ділянках було виявлено дуже мало сіянців, найбільша кількість проростків з'явилася і розвивалася на альпійських ділянках. Це вказує на те, що низька температура не обмежує проростання насіння хвойних. Випадання опадів на експериментальному майданчику мало загальний позитивний вплив на проростання сіянців, особливо при проміжних рівнях опадів. Проростання і розвиток проростків, накопичення біомаси були вищими на ділянках без рослинності, в порівнянні з ділянками з інтактною рослинністю при всіх рівнях температури (за Tingstad et al., 2015).

**8. Наслідки геоекотонізації батьківських геосистем. Геоекотонізація, природна і техногенна, може призводити до порушення функціонування батьківської геосистеми при деякому критичному рівні її фрагментації.** Природні геосистеми є синергетичним системами, в яких тісно взаємопов'язані і взаємозумовлені всі процеси. Геоекотонізація - поява нових прикордонних зон між двома геосистемами - як внаслідок природних процесів, так і в результаті антропогенних впливів, порушує динамічну рівновагу в геосистемах. При цьому при деякому критичному рівні геоекотонізації - порушується функціонування батьківської геосистеми.

Яскравим прикладом зміни функціонування батьківської геосистеми у відповідь на зростання рівня геоекотонізації - є т.зв. крайовий ефект дефорестації. Відомо, що інтенсивна господарська рубка дощових Амазонських лісів призвела до фрагментації данної природної геосистеми, тобто - цілісна геосистема розпалася на велику кількість ізольованих геосистем. При цьому зміна тільки одного параметра - розміру геосистеми - призвела до зміни мікроклімату в фрагментованих геосистемах (через зміни режиму опадів, викликаного перерозподілом атмосферного тиску над лісовими зонами і відкритими зонами рубки, див. рис.), що в підсумку - сприяло втраті видового різноманіття в межах фрагментованих дощових лісів.

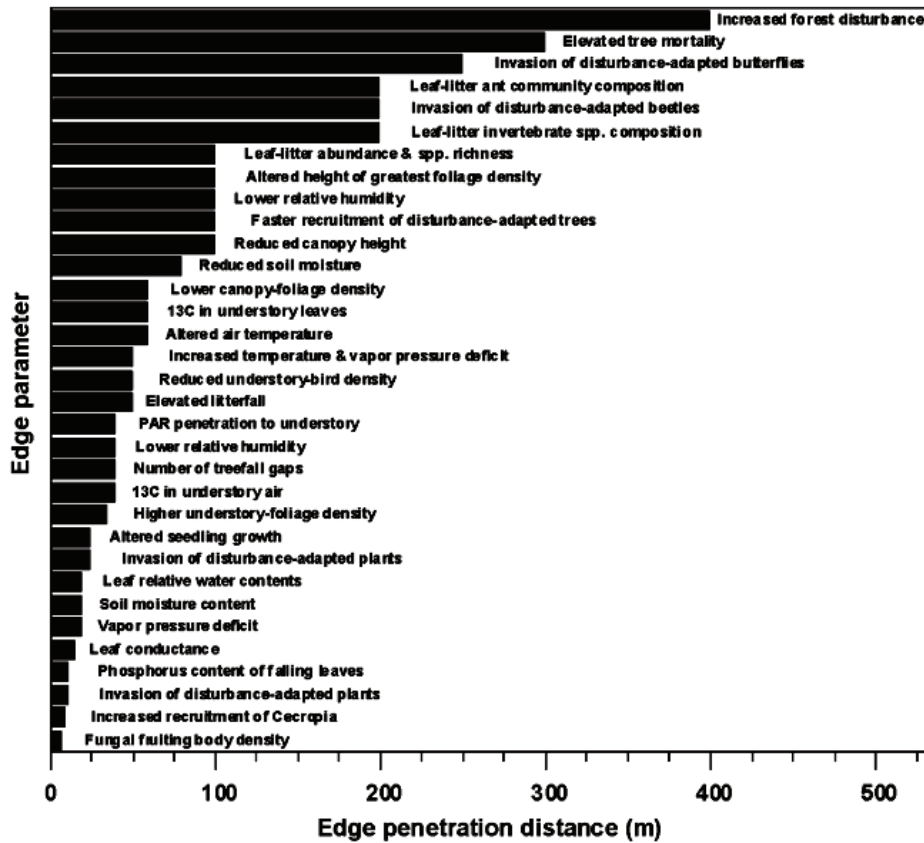


На карті вказана зона фрагментованих Амазонських дощових лісів, в межах якої Laurance W.F. з колегами (2018) проводилась дана серія досліджень. Де: чорним кольором вказані фрагменти дощових лісів; сірим кольором - пасовища або ділянки відновлення зростання лісу. Масштаб: 1 бар = 5 км (за Laurance et al., 2018).

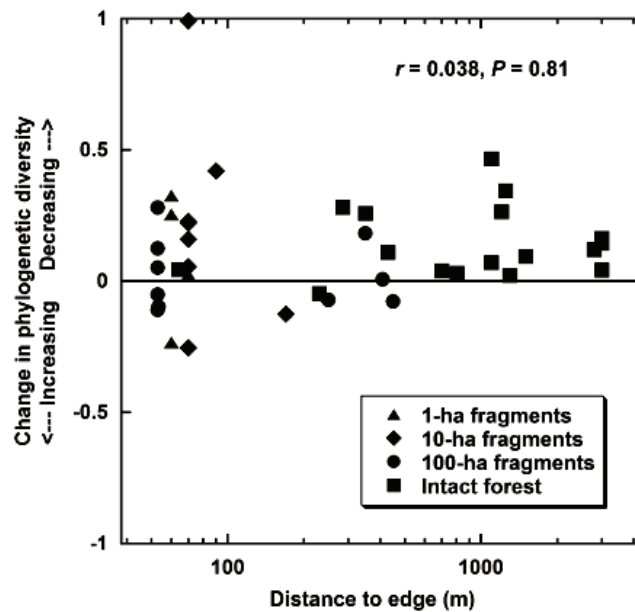


Схема, що дозволяє пояснити зміни мікроклімату (висушування) в межах фрагментів дощових лісів, після дефорестації, пов'язаної з господарськими рубками лісу (за Laurance et al., 2018).

Крім того, в прикордонній зоні між дощовим лісом і зоною рубки - змінився режим освітленості, знизився рівень зволоженості території, посилилася дія вітрів, змінився тепловий та біотичний режими геосистеми (відбулося вселення піонерних видів рослин з території рубки), що призвело до перетворення значних площ вже фрагментованої геосистеми "дощовий ліс" в геоекотонну зону "дощовий ліс-зона рубки» (за Laurance et al., 2018).



Вплив крайового ефекту на параметри функціонування геосистеми. Де: по осі ОХ - відстань від краю геосистеми, м; по осі ОУ - параметри, що характеризують стан геосистеми на відстані 0 - 500 м від зони рубки (зверху вниз): підвищений рівень пошкодженості лісу; підвищена смертність дерев; інвазія метеликів, адаптованих до порушених екосистем; змінений склад мурах, що беруть участь в декомпозиції опалого листя; інвазія жуків, адаптованих до порушених екосистем; накопичення листового опаду; зниження відносної вологості; вселення дерев, адаптованих до порушених умов проживання; зміни температури навколишнього середовища і т.н. (за Laurance et al., 2018).



Фрагментація лісу призводить до збільшення філогенетичної різноманітності в крайовій зоні і до зниження філогенетичної різноманітності в глибині лісового фрагмента в порівнянні з інтактною лісовою геосистемою. Де: по осі ОХ - відстань від краю геосистеми, м; по осі ОУ - зміни в філогенетичній різноманітності інтактного і фрагментованого лісів в залежності від відстані від краю

геосистеми; Decreasing - зниження філогенетичної різноманітності; Increasing - зростання філогенетичної різноманітності (за Laurance et al., 2018).

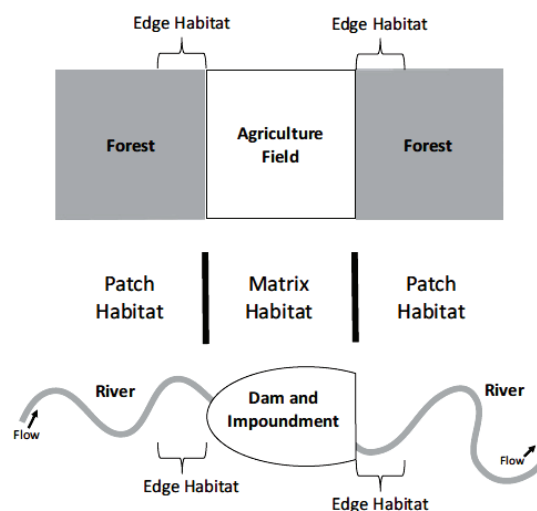
\* Відомо, що в дощових лісах мешкає багато рідкісних видів. Проведені Laurance W.F. з колегами (2018) дослідження показали, що фрагменти дощових лісів часто повністю втрачають такі рідкісні види. Крім того, крайові ефекти є помітним драйвером динаміки фрагментів, сильно впливаючи на мікроклімат лісів, смертність дерев і різноманітність фауни.

Фрагментація Амазонських дощових лісів призвела до вимирання багатьох видів флори і фауни в лісових фрагментах, що залишилися. При цьому, Laurance W.F. з колегами (2018) відзначають, що в цілому, фауна і флора по-різному реагували на фрагментацію вихідної батьківської геосистеми: вимерли види тварин, які мають великі вимоги до величини площі території проживання, і низьку толерантність до модифікованих місць проживання, які оточують фрагменти вихідної геосистеми; тоді як найбільш уразливими рослинами виявилися ті, які погано реагують на крайові ефекти або хронічні порушення в лісах, і покладаються на вразливих тварин для розсіювання насіння або запилення. Крім того, дослідники підкреслюють, що більшість лісових фрагментів є гіпердинамічними, т.т. такими, в яких популяції видів, які їх складають, реагують більш амплітудно на дію безлічі зовнішніх факторів в порівнянні з непошкодженими лісами (за Laurance et al., 2018).

**9. Перевантаження аквальних екосистем техногенними геоекотонами призводить до деградації вихідної батьківської геосистеми.** Локальна фрагментація аквальних річкових, озерних і морських екосистем відбувається внаслідок берегозахисного будівництва, функціонування портів, локального видобутку корисних копалин з дна водойми (наприклад, піску і т.н.), гідротехнічного будівництва та т.п. Будь-яке антропогенне втручання в аквальну екосистему істотно впливає на потік речовин і енергії в даній геосистемі. А оскільки природні геосистеми є відкритими системами - ефект втручання поширюється і на сусідні екосистеми, які безпосередньо не порушені господарською діяльністю людини.

\*NB! Слід зазначити наявність т.зв. віддаленого ефекту - коли результат фрагментації геосистеми проявляється не відразу, а через деякий лаг-період після зміни просторової структури геосистеми.

**10. Геоекотонний ефект річкових дамб і водосховищ.** Антропогенний геоекотонний ефект гідротехнічних споруд в межах річкових екосистем практично не досліджений. Fuller M.R. з колегами (2015) було показано, що обмеження вільної течії річки дамбами і водосховищами призводить в річкових екосистемах до т.зв. крайового ефекту, який спостерігається в лісових екосистемах при їх фрагментації в результаті рубки (за Fuller et al., 2015).



Зарегулювання стоку річки дамбою створює т.зв. крайовий ефект у річковій екосистемі, аналогічний крайовому ефекту після вирубки лісів. Де: Edge Habitat - крайова зона проживання; Forest - ліс;

Agriculture Field - сільськогосподарське поле; Patch Habitat - ядро природного середовища існування організмів; Matrix Habitat - екосистема, похідна від вихідного середовища проживання; River - річка; Dam and Impoundment - гребля та ставок (за Fuller et al., 2015).

\*NB! Природний варіант фрагментації аквальних екосистем - це водоспади, греблі бобрів, розливи річок з подальшою ізоляцією невеликих водойм після спаду води і т.н.

У лісових екосистемах така фрагментація, при її деякому пороговому рівні, провокує деградацію батьківських фрагментованих екосистем, внаслідок дестабілізації параметрів їх функціонування. Зміни швидкості течії річки і руху річкових наносів призводять до змін хімічного і температурного режимів локальних акваторій, і, як наслідок, впливають на склад біоти. При цьому на ситуацію зміни абіогенних параметрів функціонування аквальних екосистем - накладається феномен просторової ізоляції біоти верхніх б'їофів від біоти нижніх б'їофів водосховища.

### **Частина 3. Стійкість природних геосистем за умов оточення техногенними системами (цитовано за Гродзинським, 1993)**

**1. Біоцентр.** Біоцентр - це територія або акваторія з природною флорою і фауною, яка в межах антропогенних ландшафтів виконує функцію збереження генофонду. За площею займаної території виділяють наступні типи біоцентрів: 0,05 – 0,5 км<sup>2</sup> – карликові біоцентри; 0,5 – 1 км<sup>2</sup> – малі біоцентри; 1-3 км<sup>2</sup> – середні біоцентри; 3-10 км<sup>2</sup> – відносно великі біоцентри; 10 км<sup>2</sup> і більше - великі біоцентри.

#### **2. Умови збереження біоцентрів.**

Умови збереження біоцентрів:

- 1) оптимальне сусідство з антропогенними об'єктами (відсутність територіальної агресії: механічної, хімічної, біологічної);
- 2) оптимальний розмір біоцентра (10-100 км<sup>2</sup> для виживання рослин і дрібних тварин; 10-100 тис. км<sup>2</sup> – для виживання великих тварин);
- 3) для малих і середніх біоцентрів - можливість обміну біотою (для запобігання виродженню популяцій при близькоспоріднених схрещуваннях особин).

#### **3. Біокоридори.**

Біокоридор - це територія або акваторія по якій відбувається міграція організмів від одного біоцентра до іншого. Природні біокоридори - річки, схили і днища ярів, балок і т.н. Антропогенні біокоридори - штучні лісосмуги, алеї в містах і т.н. Успішність міграції через біокоридор залежить від едафічних умов біокоридора, тобто від кількості вологи, тепла, освітленості і складу ґрунтів на даній території.

#### **4. Інтенсивність міграції організмів між біоцентрами.**

Інтенсивність міграції організмів між біоцентрами встановлюється в ході польових досліджень і залежить від довжини біокоридора, від едафічних умов в біокоридорі, від розмірів біоцентрів (чим більшим є біоцентр - тим, звичайно, більше видове різноманіття організмів і більша ймовірність того, що едафічні умови біокоридора будуть відповідати життєвим потребам мігруючого організму). Кількісно виявлені закономірності відображені в розрахунковій формулі:

$$C_{ij} = k \cdot \frac{S_i \cdot S_j}{d_{ij}^2}$$

де:  $C_{ij}$  – умовна оцінка інтенсивності біотичних міграцій між біоцентрами  $i$  і  $j$ ;  $k$  – коефіцієнт «провідності» біокоридора, за який приймають оцінку його едафічної різноманітності;  $S_i$  і  $S_j$  – площі біоцентрів  $i$  і  $j$ ;  $d_{ij}$  – довжина біокоридора, який з'єднує біоцентри  $i$  і  $j$ .



Поняття «ецеzisа». Ецеzis - це проходження на новому місці проживання хоча б одного повного життєвого циклу організму-емігранта. Успіх ецеzisа залежить від едафічних умов нового біоцентра і від конкурентоспроможності даного виду по відношенню до видів-аборигенів.

### **5. Вплив біоцентрів на прилеглі території.**

Вплив біоцентрів на прилеглі території може бути як позитивним, так і негативним. Так, біоцентри не тільки зберігають генофонд популяцій, але і забезпечують очистку навколишнього середовища від забруднюючих речовин техногенного походження. Дослідження показали, що 1 гектар лісонасаджень щорічно здатний поглинати з повітря близько 400 кг діоксиду сірки, 100 кг хлоридів, 25 кг фторидів і т.д. З іншої сторони, сусідство з біоцентрами часто супроводжується поширенням на територію господарської підсистеми алергенів, грибкових захворювань, комах і тварин-паразитів і т.н.

### **6. Побудова карти і графа біоцентрично-мережевої ландшафтної структури території.**

На карту біоцентрично-мережевої ландшафтної структури наносять: біоцентри, біокоридори, інтерактивні елементи (витягнуті ареали, які відходять від біоцентрів і біокоридорів, але не забезпечують їх зв'язування з іншими біоцентрами), геоекотонні зони (прикордонні зони між природною і господарською підсистемами).

У легенді до карти вказується назва біоцентрів. Структура назви біоцентру і біокоридорів визначається едафічними умовами на даних територіях. Наприклад, ксерофітно-степовий біоцентр, галофітно-луговий біоцентр і т.н. Граф - це схематичне зображення структури території. Завдання графа - схематично відобразити кількість біоцентрів і їх зв'язаність біокоридорами.

### **7. Оцінка екологічного благополуччя малих і середніх біоцентрів.**

Оцінка екологічного благополуччя малих і середніх біоцентрів проводиться на підставі значень  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -індексів зв'язності графа.  $\alpha$ -індекс – це показник, який характеризує наявність альтернативних шляхів міграції особин з біоцентрів;  $\beta$ -індекс – це показник, який характеризує ступінь розвитку і складність мережі біокоридорів;  $\gamma$ -індекс – це показник, який характеризує ступінь розгалуженості мережі біокоридорів і, відповідно, довжину шляхів міграції організмів між двома довільно обраними біоцентрами.

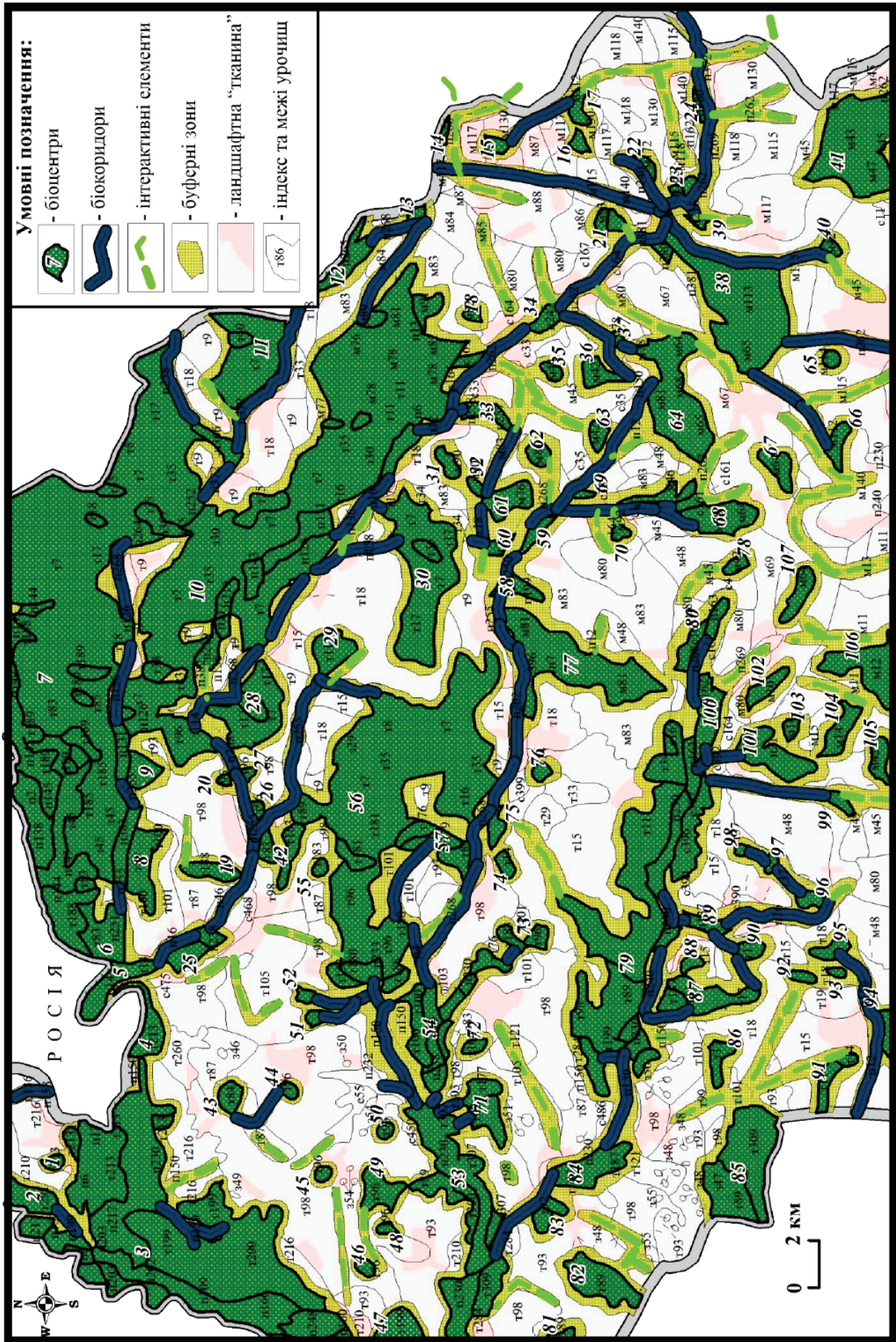
Значення  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -індексів зв'язності графа обчислюють за наступними формулами:

$$\alpha = \frac{K - B + 1}{2 \cdot B - 5} \quad \beta = \frac{K}{B} \quad \gamma = \frac{K}{3 \cdot (B - 2)}$$

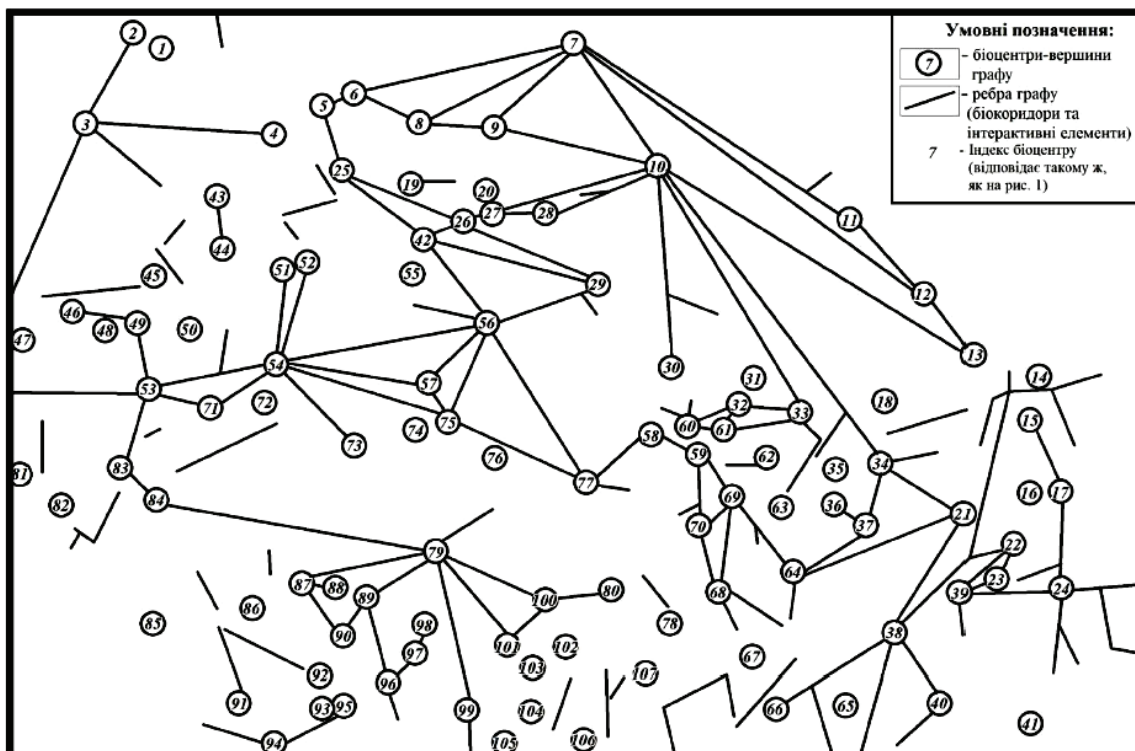
Де: K – число біокоридорів; B - число біоцентрів. Для  $\alpha$ -індекса – оптимальні значення  $\alpha = 1$ ; для  $\beta$ -індекса – оптимальні значення  $\beta = 3$ ; для  $\gamma$ -індекса – оптимальні значення  $\gamma = 1$ .

**Приклад аналізу біоцентрично-сітьової структури ділянки мішанолісових комплексів Лівобережної України (цитовано за Удовиченко, 2017).** Для аналізу побудованого графу біоцентрично-сітьової структури ділянки мішанолісових комплексів Лівобережної України, Удовиченко В.В. (2017) були використані  $\alpha$ -,  $\beta$ - та  $\gamma$ -індекси зв'язності графу, які допомагають оцінити специфіку функціонування елементів біоцентрично-сітьової структури означеного ландшафту.

Розраховані значення  $\alpha$ -індексу зв'язності графу для тестової ділянки дослідження, становили  $\alpha = -0,04$  (при оптимальному значенні  $\alpha = 1$ ). Це свідчить про те, що біоцентрично-сітьова структура означеного локального ландшафту має недостатню, за існуючої кількості біоцентрів, альтернативну кількість шляхів міграцій особин у її складі.



Біоцентрично-сітьова структура ділянки мішано-лісових комплексів Лівобережної України (фрагмент) (цитовано за Удовиченко, 2017).



Граф біоцентрично-сітьової структури ділянки мішанолісових комплексів Лівобережної України (фрагмент) (цитовано за Удовиченко, 2017).

Величина  $\beta$ -індексу зв'язності означеного графу становить  $\beta = 0,91$  й свідчить про те, що у складі ділянки дослідження не сформувалося жодного циклу, а ступінь розвитку й складність мережі біокоридорів є незначною.

Показник  $\gamma$ -індексу зв'язності графу становить  $\gamma=0,31$ . Це свідчить про те, що не кожен біоцентр безпосередньо пов'язаний біокоридором з рештою біоцентрів, а ступінь альтернативності вибору шляхів міграції з одного біоцентру до інших є невисоким, мережа біокоридорів є недостатньо розгалуженою, а шляхи міграції між двома біоцентрами є доволі довгими, що, відповідно, потребує оптимізації їх мережі у складі даної біоцентрично-сітьової структури ландшафту (цитовано за Удовиченко, 2017).

**Створення біокоридорів для збереження видів з фрагментованим ареалом проживання.** Фрагментація ареалу проживання виду відбувається як в результаті природних процесів, так і внаслідок господарської діяльності людини.

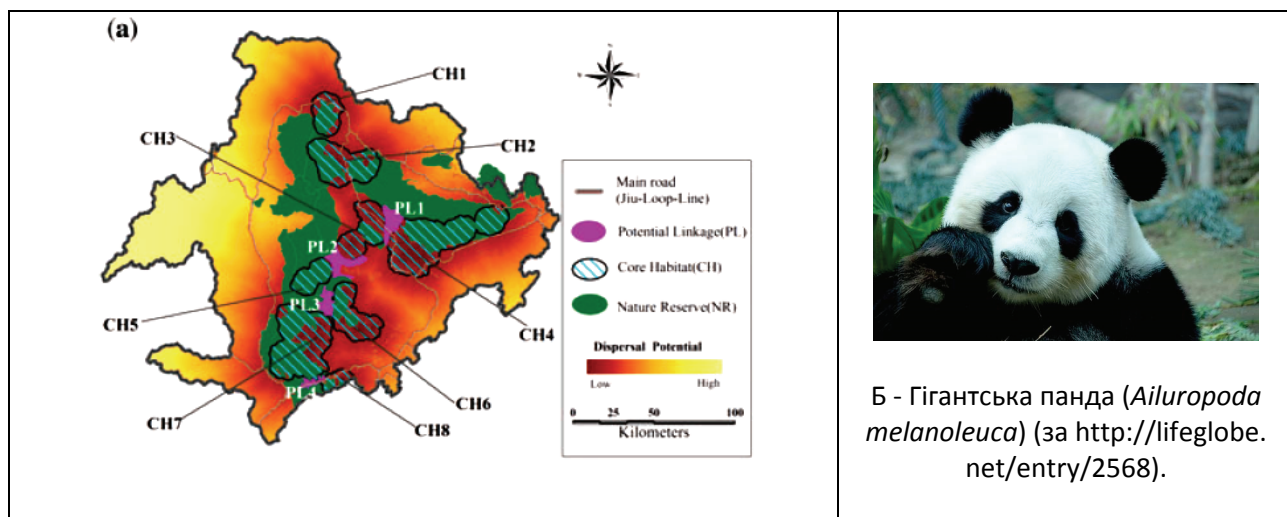


Дороги господарського призначення обмежують свободу пересування і, в результаті, сприяють фрагментації ареалу проживання лісових слонів (*Loxodonta africana cyclotis*). Конго, Африка (за Blake et al., 2008).

Для рідкісних і зникаючих видів - така фрагментованість стає загрозливою для існування виду, оскільки підвищує ймовірність вимирання особин як в результаті близькоспоріднених схрещувань, так і внаслідок дії будь-яких стресових факторів

середовища. Створення біокоридорів між фрагментованими ареалами проживання - дає реальний шанс таким видам на виживання.

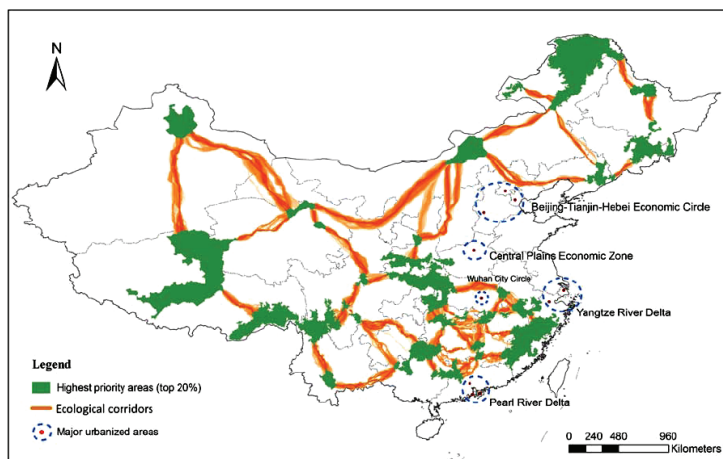
Наприклад, гігантська панда (*Ailuropoda melanoleuca*) - це один з видів, що знаходиться на межі знищення через втрату і фрагментацію території проживання. Shen G. з колегами (2008), на підставі результатів аналізу супутникових зображень і даних про екологічні та поведінкові особливості гігантської панди, зібраних протягом більше, ніж 10 років польових досліджень, змоделювали ландшафт, який дозволить зберегти даний зникаючий вид в горах Міншан Китаю. Проведені дослідження показали, що 45% біоцентрів проживання гігантських панд (3245,4 км<sup>2</sup>) розташовані за межами охоронної зони заповідників. При цьому врахування житлових районів і системи доріг зменшило загальну оціночну базу площу проживання гігантських панд на 30,4 - 44,5%.



Біоцентри (CH) та потенційні біокоридори (PL), необхідні для збереження гігантської панди в горах Міншан, Китай, виділені в результаті досліджень, проведених авторами роботи (за Shen et al., 2008).

Shen G. з колегами (2008) були ідентифіковані 8 базових біоцентрів проживання гігантських панд і 4 потенційні біокоридори, які повинні з'єднати біоцентри CH3, CH4 і CH5 з біоцентрами CH6, CH7 і CH8. Інтеграція виявлених місць проживання з вже відомими місцями проживання дозволить створити ефективну екологічну мережу для збереження гігантських панд (за Shen et al., 2008).

Національні програми створення екомережі, в якій найважливіші біоцентри пов'язані біокоридорами, розроблені в багатьох країнах світу.



Запланована мережа екологічних коридорів між найважливішими біоцентрами на території Китаю (за Liang et al., 2018).

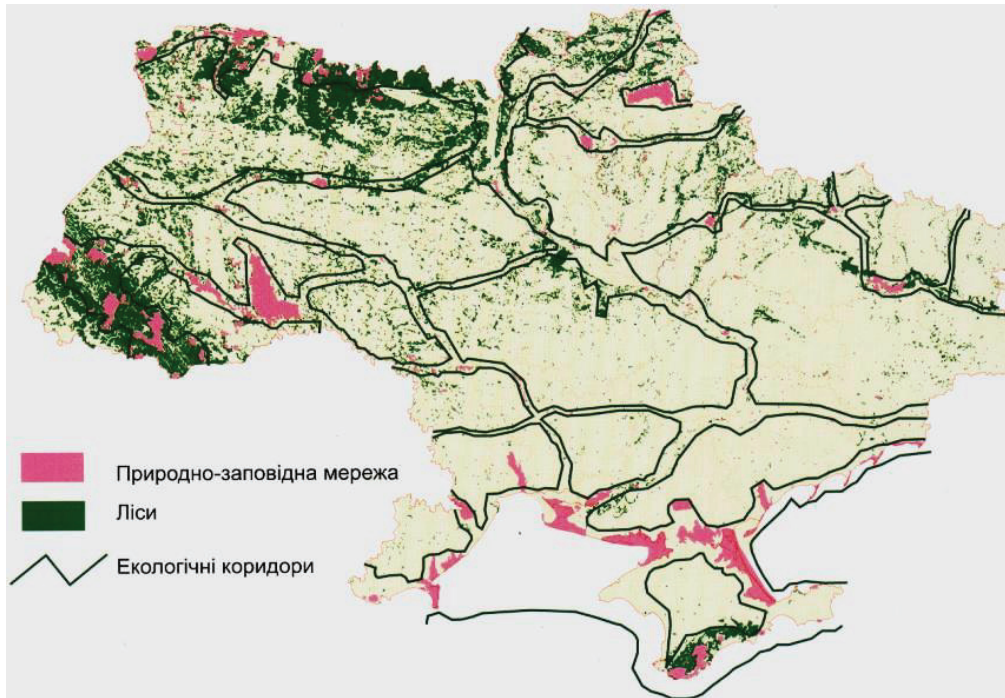
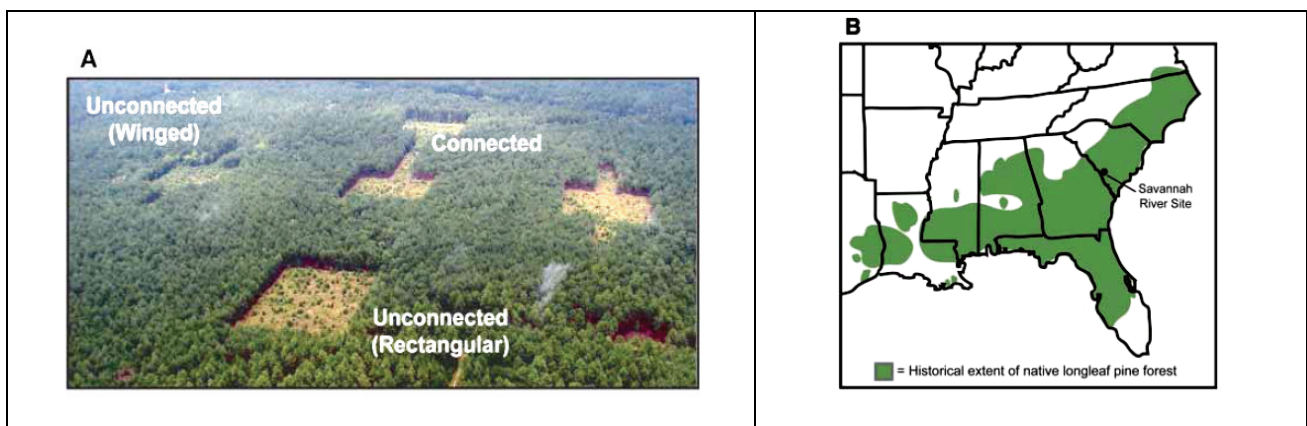


Схема проектних елементів загальнодержавного значення національної екомережі України. Де: червоним кольором – вказано природно-заповідну мережу; темно-зеленим кольором – ліси; чорними лініями – екологічні коридори (за <https://studfiles.net/preview/5010579/page:11/>).

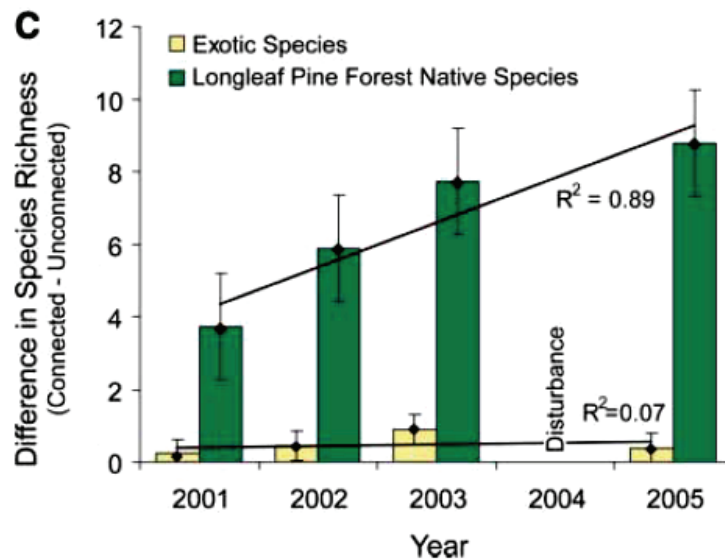
**Експериментальне підтвердження позитивної ролі біокоридорів в збереженні біорізноманіття екосистем.** Однією з найбільших загроз для біорізноманіття є фрагментація місць проживання видів організмів. Вченими було висловлено припущення, згідно з яким, екологічні ландшафтні коридори повинні знизити негативні наслідки фрагментації ареалів проживання організмів. Однак, практично відсутні науково-дослідні роботи, в яких експериментальним шляхом підтверджується дане припущення.

Damschen E.I. з колегами (2006) був проведений експеримент, в результаті якого було показано, що біоцентри, з'єднані біокоридорами, зберігають більше місцевих видів рослин, в порівнянні з ізольованими біоцентрами, і що ці відмінності збільшуються з часом. Крім того, в результаті проведених досліджень було встановлено, що біокоридори не сприяють вторгненню чужорідних екзотичних видів в екосистему. В цілому, отримані Damschen E.I. з колегами (2006) дані, підтвердили позитивну роль біокоридорів в збереженні біорізноманіття фрагментованих екосистем (за Damschen et al., 2006).



(A) Одна з шести експериментальних ділянок дослідження в районі річки Саванна (the Savannah River Site), Південна Кароліна, США. На території експериментальної ділянки біоцентри (відкриті території з молодими рослинами довгохвойної сосни *Pinus palustris*) з'єднані або не пов'язані біокоридорами. Експериментальні біоцентри були оточені щільними заростями нативного лісу. Де:

unconnected (rectangular or winged) - незв'язані коридорами біоцентри (прямокутні або крилоподібної форми); connected - біоцентри, пов'язані біокоридорами. (В) Розташування ділянки річки Саванна щодо історичного розташування нативного соснового лісу (цитовано за Damschen et al., 2006).



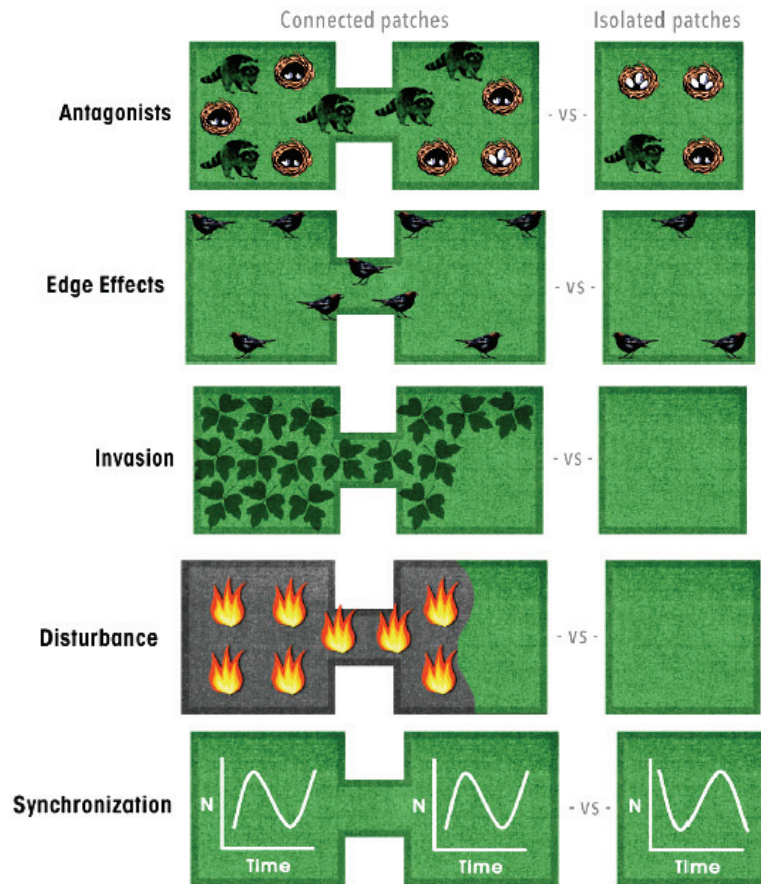
(С) - відмінності у видовому розмаїтті нативних лісових соснових видів в біоцентрах, пов'язаних біокоридорами, в порівнянні з біоцентрами, непов'язаними біокоридорами, збільшувалися в інтервалі з 2001 по 2005 рр (на схемі - зелені прямокутники); тоді як відмінності у видовому розмаїтті чужорідних екзотичних видів - були статистично недостовірними (на схемі - жовті прямокутники). Де: по осі ОУ - Difference in Species Richness (Connected - Unconnected) - відмінності у видовому розмаїтті між біоцентрами, пов'язаними і не пов'язаними біокоридорами; по осі ОХ - роки дослідження; Longleaf Pine Forest Native Species - нативні види довгохвойного соснового лісу; Exotic Species - екзотичні види (за Damschen et al., 2006).

### Суперечливість оцінок можливої негативної ролі біокоридорів між біоцентрами.

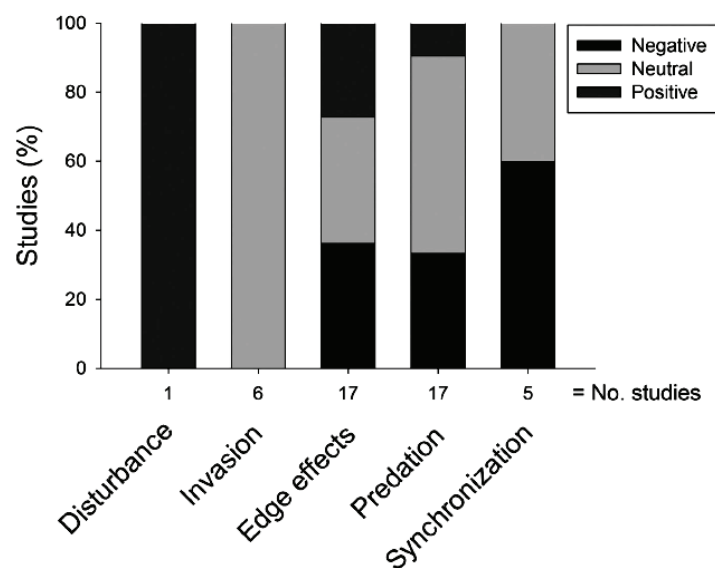
У більшості досліджень акцент робиться на позитивну роль екологічних коридорів в забезпеченні підтримки видового різноманіття фрагментованих екосистем. Однак, поряд з позитивною роллю - екокоридори можуть грати і негативну роль в екосистемах. Зокрема, екокоридори спроможні сприяти переміщенню видів-антагоністів (хижаків і патогенів), сприяти посиленню прояву т.зв. крайового ефекту, підсилювати інвазію екзотичних видів, підсилювати поширення небажаних факторів (зокрема, таких, як екосистемні пожежі); крім того - екокоридори спроможні сприяти зростанню синхронності процесів в екосистемах, що редує їх стійкість.

Однак, аналіз літературних даних, проведений Haddad N.M. з колегами (2014), не виявив ролі екокоридорів в посиленому поширенні небажаних пошкоджень в екосистемах, а також - в прискоренні вторгнення в екосистему небажаних інвазивних видів. Інші негативні ефекти - також не показали достовірних відмінностей. Одночасно, автори робити вказують на певну обмеженість існуючих даних щодо ролі екологічних коридорів в екосистемах.

В цілому, проведене Haddad N.M. з колегами (2014) дослідження не підтвердило припущень, згідно яких створення і експлуатація коридорів в середовищі існування може привести до ненавмисних негативних наслідків. При цьому автори роботи відмічають, що негативні крайові ефекти можуть бути пом'якшені за рахунок розширення коридорів або пом'якшення країв між коридорами і біоцентрами. Тоді як інші негативні наслідки відносно малі і керовані в порівнянні зі значним позитивним ефектом біокоридорів в забезпеченні різноманітності місцевих видів (за Haddad et al., 2014).



Графічне зображення можливих негативних наслідків функціонування біокоридорів між екосистемами: збільшення поширення антагоністичних видів (наприклад, снотів [*Procyon lotor*], які знищують гнізда птахів); створення негативних крайових ефектів (наприклад, збільшення присутності волового птаха (або т.зв. буроголового коров'ячого трупіала) [*Molothrus ater*]); полегшення поширення інвазивних видів (наприклад, рослини кудзу [*Pueraria lobata*]); збільшення поширення порушень в екосистемах (наприклад, пожеж); збільшення синхронізації чисельності населення екосистеми (цикли популяції знаходяться в одній фазі в пов'язаних біоцентрах і в різних фазах в біоцентрах, не пов'язаних біокоридорами; де: N - розмір популяції, Time - час) (за Haddad et al., 2014).

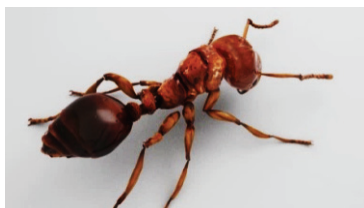


Статистика наукових досліджень (Studies,%), в ході яких були виявлені негативні (Negative), нейтральні (Neutral) або позитивні (Positive) наслідки наявності біокоридорів для цільових видів. Деякі дослідження включали види, які реагували більше ніж одним способом, тому індивідуальне

дослідження може з'являтися в більш ніж в одній категорії відповідей (збільшення кількості порушень, полегшення проникнення інвазивних видів, збільшення хижацтва, збільшення синхронізації динаміки популяції; ефекти вказані від самого маленького до максимально негативного. Де: Disturbance - поширення пошкоджуючих впливів; Invasion - посилення біоінвазій чужорідних видів; Edge effects - крайові ефекти; Predation - посилення тиску хижаків; Synchronization - синхронізація популяцій; No. studies - кількість досліджень; Studies (%) - відсоток досліджень (Haddad et al., 2014).

**Вплив біокоридорів на інвазію чужорідних видів.** На відміну від висновків, зроблених Haddad N.M. з колегами (2014), результати експериментальних досліджень Resasco J. з колегами (2014), вказують на те, що ландшафтні екокоридори можуть посилювати інвазію екзотичних видів і редукувати різноманітність нативних видів. Зокрема, автори роботи досліджували вплив біокоридорів на поширення інвазивного виду вогняних мурах (*Solenopsis invicta*) і нативних видів мурах.

Проведені дослідження показали, що вогняні мурахи мають дві соціальні форми: полігінні, які, як правило, погано розселяються, але мають дуже високу щільність популяції; і моногінні - які розселяються повсюдно, але мають низьку щільність популяції. В екосистемах, в яких домінували вогняні мурахи полігінні, - кількість вогняних мурах була вищою, а різноманітність нативних мурах була нижчою в біоцентрах, пов'язаних біокоридорами, в порівнянні з біоцентрами, не пов'язаними біокоридорами. Таким чином, система біокоридорів сприяла інвазії вогняних мурах соціальної форми полігінні.



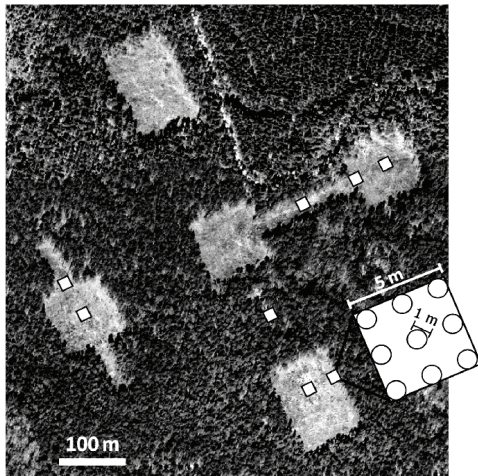
Вогняний мураха (*Solenopsis invicta*) - один з найнебезпечніших інвазивних видів (за <https://yandex.fr/images/search?text=Solenopsis%20invicta&noreask>).

Навпаки, в екосистемах, в яких домінували вогняні мурахи моногінні, зв'язаність біоцентрів біокоридорами не мала значення ні для чисельності вогняних мурах, ні для різноманітності нативних видів мурах. Відомо, що вогняні мурахи полігінні зазвичай домінують в нещодавно створених ландшафтах. Це свідчить про те, що коридорний ефект може бути тимчасовим. Таким чином, отримані авторами роботи дані свідчать про те, що біокоридори можуть сприяти інвазії чужорідних видів і що необхідно враховувати біологічні особливості видів при оцінці корисності або небезпеки біокоридорів (за Resasco et al., 2014).

**Вплив біокоридорів на поширення пожеж в екосистемах.** Brudvig L.A. з колегами (2012) вивчали роль біокоридорів в поширенні екосистемних пожеж в шести експериментальних відкритих ландшафтах (трав'янисто-чагарникові екосистеми кожна площею 50 га, розташовані всередині лісової екосистеми на території Саванна-Рівер-сайт, Південна Кароліна, США).

Проведені дослідження показали, що коридори вплинули на температуру пожеж безпосередньо, через ефект прямого вітрового з'єднання, і опосередковано, через т.зв. крайовий ефект: сусідство з сосновим лісом збагатило підстилку опадом, який підвищив температуру пожеж. У свою чергу, більш високі температури пожеж в екосистемах з біокоридорами призвели до змін в особливостях післяпожевної рослинності (за Brudvig et al., 2012).



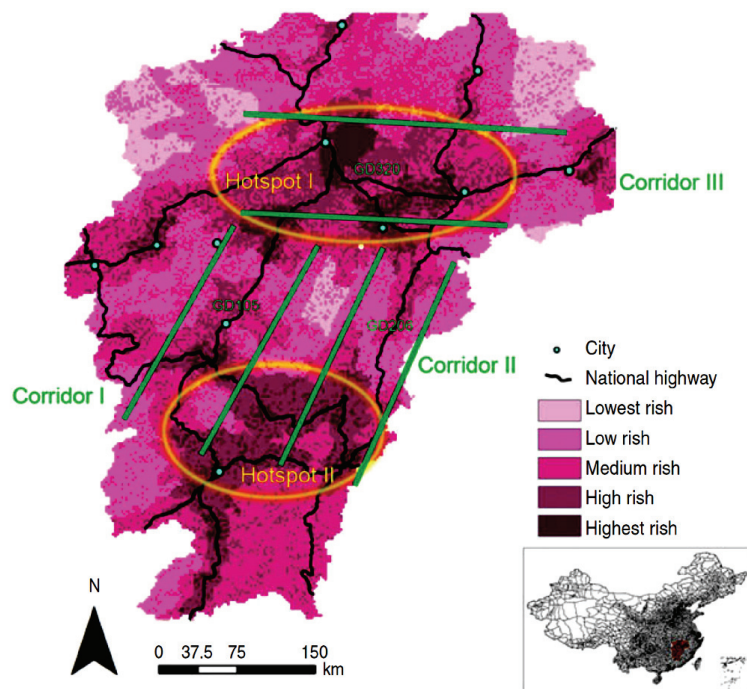


На малюнку зображений один з шести експериментальних ландшафтів, в яких досліджували роль біокоридорів в поширенні пожеж між біоцентрами. Кожен ландшафт складався з центральної 1 га і чотирьох 1,4-га периферичних відкритих (трав'янистих і чагарникових) екосистем в межах соснового лісу. Одна периферична екосистема була з'єднана біокоридором, а три були не пов'язані і ізольовані сосновим лісом. Ділянки відбору проб рослинності, оцінки температури, складу підстилки і т.н. вказані на вставці (за Brudvig et al., 2012).

### Роль екологічних коридорів в поширенні епідемічно небезпечних інфекцій.

Необхідність вивчати екологічні коридори пов'язана не тільки з важливістю збереження біорізноманіття в фрагментованих геосистемах, але - важлива також для оцінки можливих шляхів поширення небезпечних інфекцій, які передаються тваринами.

Наприклад, в Китаї в районі озера Поянг (Poyang Lake) взаємодія між дикими перелітними птахами і домашніми птахами є поширеним явищем і створює можливість для передачі і подальших спалахів високопатогенного вірусу пташиного грипу. Zhang L. з колегами (2013) був досліджений ряд екологічних факторів, пов'язаних зі спалахами пташиного грипу, для зіставлення ризику розвитку захворювання по відношенню до природних і антропогенних складових поширення інфекції, і були визначені два біоцентри (т.зв. «гарячі точки», Hotspots) для потенційних спалахів епідемії в районі озера Поян, а також три коридори, що з'єднують ці два біоцентри.



Високопатогенні осередки пташиного грипу і трансмісивні коридори передачі інфекції в провінції Цзянсі, Китай. У провінції Цзянсі були виявлені два центри розвитку інфекції пташиного грипу (т.зв. «гарячі точки», Hotspots) і три коридори передачі вірусу між цими центрами. Області всередині

жовтих еліпсів - це осередки інфекції, а зелені лінії позначають коридори її передачі (за Zhang et al., 2013).

Було встановлено, що у гарячій точці I є умови для привнесення перелітними птахами нових штамів вірусу пташиного грипу, які спроможні перекомбінуватися з існуючими штамми з утворенням нових вірусів пташиного грипу. Гаряча точка II характеризується високою щільністю птахівництва, де також ймовірні спалахи ендемічних вірусів пташиного грипу. Три коридори, які пов'язують ці дві гарячі точки, також сприяють передачі вірусу і виникненню спалахів пташиного грипу штамів H5N1 і ведуть до збереження вірусів пташиного грипу в регіоні озера Поян (за Zhang et al., 2013).

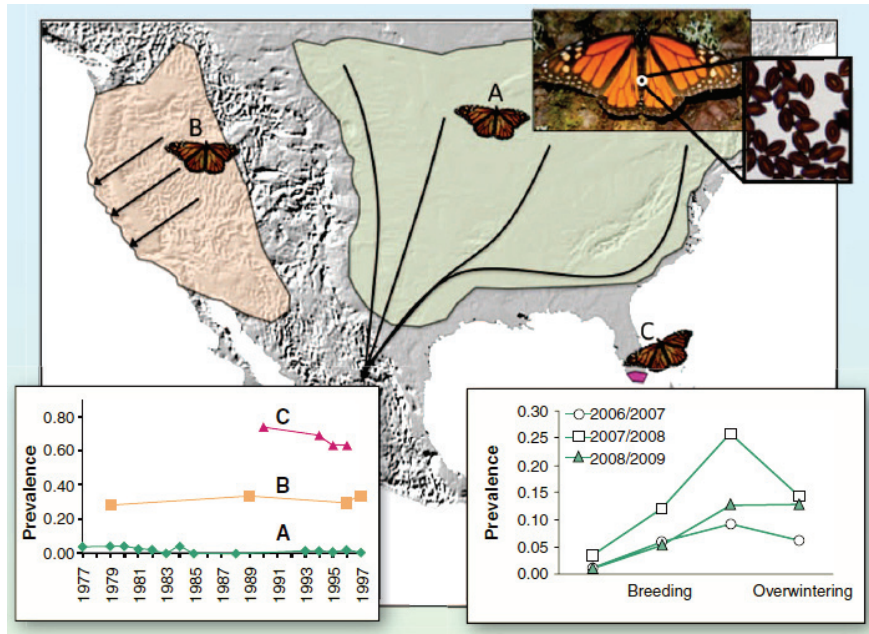
**Суперечливість даних щодо ролі біокоридорів в поширенні патогенів між фрагментованими екосистемами.** Згідно моделі Гесса Г. (Hess, 1996) - при фрагментації екосистем, в малих біоцентрах з інфікованими особинами швидше за все відбудеться вимирання популяції, а не поява резистентності до патогену. McCallum H. і Dobson A. (2002) розглянули дві можливі ситуації: невеликі біоцентри резистентні до інфекції і невеликі біоцентри - резервуари патогена. Розроблені авторами математичні моделі показали, що в обох випадках користь від біокоридорів між фрагментованими біоцентрами буде більшою (для збереження екосистеми за рахунок можливості міграції організмів між біоцентрами) в порівнянні з ризиками прискореного поширення патогенів через ці ж біокоридори (McCallum & Dobson, 2002).

Однак, дослідження, проведені Harding K.C. з колегами (2012), показали, що міграції через біокоридори особин-носіїв патогенів можуть мати руйнівний вплив на фрагментовану екосистему в наслідок ряду виявлених ними ефектів взаємодії в системі господар-патоген. Автори даної роботи розширили модельну систему, в якій врахували: а) роль алельних ефектів в швидкості колонізації патогеном організмів-господарів; б) можливість переважання патогенами другого виду-господаря; в) різний успіх колонізації інфікованими і здоровими особинами.

Отримані авторами роботи дані свідчать про те, що динаміка системи господар-патоген може бути дуже чутливою до збільшення швидкості міграції особин. При цьому алельні ефекти роблять приймаючу популяцію уразливою до поширення збудників від інших господарів, а зникнення метапопуляції (фрагментованої популяції) може відбутися у, здавалося би, стійких ситуаціях ендемічного співіснування.

Таким чином, підвищення зв'язності фрагментованої екосистеми за рахунок екокоридорів при відсутності достатньої інформації про деталі біології системи господар-патоген - може мати загрозові наслідки для існування метапопуляції (за Harding et al., 2012).

**Міграції тварин і поширення з ними патогенів.** Мігруючі види тварин переносять зоонозних патогенів, які мають важливе значення для людини. Загальноновизнаною є точка зору, згідно якої міграції тварин сприяють глобальному поширенню патогенів та полегшують їх міжвидову трансмісію. Це дійсно відбувається, але нові дослідження також показали, що: а) міграції дозволяють господарям залишати заражені місця існування; б) міграції спроможні знижувати рівень захворюваності в популяції, за умови, коли інфіковані тварини не спроможні мігрувати успішно; в) міграції сприяють еволюції менш вірулентних патогенів. Крім того, міграційні вимоги до тварин також можуть знизити їх імунну функцію, з відповідними наслідками для сприйнятливості господаря до патогенів і його смертності. На сьогоднішній день актуальними є дослідження динаміки патогенів у мігруючих видів і того, як вони будуть реагувати на глобальні зміни, щоб передбачити майбутні ризики перенесення збудників хвороб для диких тварин і людей (за Altizer et al., 2011).



Метелики монархи (*Danaus plexippus*) уражаються найпростішими паразитами *Ophryocystis elektroscirrha* (фотографія вгорі праворуч). Метелики монархи, що мешкають на сході Північної Америки (A) мігрують на відстань до 2500 км до сайтів зимівлі на території Центрального Мехіко. Метелики монархи, які мешкають на заході Північної Америки (B), мігрують на більш короткі дистанції для зимівлі уздовж узбережжя Каліфорнії. Крім того, метелики монархи формують немігруючу популяцію, яка протягом цілого року мешкає на території південної Флориди (C), Гаваях, Карибських островах і територіях Центральної і Південної Америки. Проведені дослідження показали, що поширеність паразита в популяції метеликів монархів збільшувалася протягом сезону розмноження метеликів, причому найбільшу поширеність паразита було виявлено серед метеликів, пов'язаних з більш інтенсивним використанням середовищ існування і більш тривалим перебуванням в східній частині Північної Америки, що узгоджується з гіпотезою про роль міграцій в підтримці здорового стану популяцій. Експерименти показали, що метелики монархи, заражені *O. elektroscirrha*, літали на більш короткі відстані і мали меншу швидкість польоту; в результаті - поширеність паразитів у популяції знижувалася в міру просування метеликів монархів на південь під час міграцій, що узгоджується з ідеєю міграційного відбраковування заражених особин. Лабораторні дослідження також показали, що паразити, ізольовані з далеко-мігруючої популяції метеликів монархів зі східної частини Північної Америки (A) були менш вірулентними, в порівнянні з паразитами, виділеними з метеликів близько-мігруючої (B) і немігруючої (C) популяцій. Це свідчить про те, що в ході більш тривалих міграцій йде відбір метеликів монархів, які несуть менш вірулентні генотипи паразитів. Робота над даною модельною системою показала, що міграції відіграють важливу роль у підтримці здоров'я популяції метеликів монархів. Потепління клімату ставить під загрозу міграції метеликів монархів. А втрата міграційної поведінки у відповідь на помірну зиму і наявність цілорічних ресурсів може підвищити рівень поширеності інфекції та привести до значного накопичення в популяції більш вірулентних генотипів паразитів (цитовано за Altizer et al., 2011).

### Контрольні питання:

1. Поняття «стійкість геосистем». Типи стійкості геосистем.
2. Поняття відмови геосистеми.
3. Методи кількісної оцінки стійкості геосистем до антропогенних навантажень.
4. Поняття геоекотона.
5. Техногенні геоекотонні зони.
6. Геосистеми-агресори і геосистеми-донори.
7. Геоекотонізація, природна і техногенна. Наслідки геоекотонізації батьківських геосистем.
8. Поняття «біоцентр». Умови збереження біоцентрів.
9. Біокоридори. Едафічні умови біокоридорів.
10. Оцінка інтенсивності міграції організмів між біоцентрами з використанням гравітаційної моделі.
11. Ефективність міграції між біоцентрами. Поняття «ецевіс».
12. Структура назви біоцентрів і біокоридорів.

13. Побудова карти біоцентрично-сітьової ландшафтної структури територій.
14. Вплив біоцентрів на оточуючі території.
15. Побудова графу біоцентрично-мережевої ландшафтно-територіальної структури.
16. Оцінка екологічного стану біоцентрів на підставі аналізу значень  $\alpha$ -,  $\beta$ - і  $\gamma$ -індексів зв'язності їх графу.
17. Позитивна і негативна роль біокоридорів в екосистемах.

### Література:

1. Гродзинський М.Д. Методика оценки устойчивости геосистем к антропогенным воздействиям // Физическая география и геоморфология. – 1986. – Вып. 33. – С. 32-38.
2. Гродзинський М.Д. Основи ландшафтної екології. – К.: Либідь, 1993. – 224 с.
3. Гродзинський М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. – К.: Лікей, 1995. – 233 с.
4. Гродзинский М.Д., Шищенко П.Г. Ландшафтно-экологический анализ в мелиоративном природопользовании. – К.: Либідь, 1993. – 225 с.
5. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. – М.: Высшая школа. 1991. - 366 с.
6. Удовиченко В.В. Біоцентрично-сітьова конфігурація мішанолісових ландшафтних комплексів Лівобережної України (на приклади тестової ділянки дослідження) // Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Екологія». – 2017. Вип. 16. – С. 29 - 38. [http://journals.urau.ua/visnukkhnu\\_ecology/article/view/109337/104285](http://journals.urau.ua/visnukkhnu_ecology/article/view/109337/104285).
7. Allen C.D., Breshears D.D. Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: rapid landscape response to climate variation // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1998. – Vol. 95(25). – P. 14839 - 14842.
8. Altizer S., Bartel R., Han B.A. Animal migration and infectious disease risk // Science. – 2011. – Vol. 331(6015). – P. 296 - 302. doi: 10.1126/science.1194694.
9. Blake S., Deem S.L., Strindberg S., Maisels F., Momont L., et al., Roadless wilderness area determines forest elephant movements in the Congo Basin // PLoS One. – 2008. – Vol. 3(10):e3546. doi: 10.1371/journal.pone.0003546.
10. Brudvig L.A., Wagner S.A., Damschen E.I. Corridors promote fire via connectivity and edge effects // Ecol. Appl. – 2012. – Vol. 22(3). – P. 937 - 946.
11. Damschen E.I., Haddad N.M., Orrock J.L., Tewksbury J.J., Levey D.J. Corridors increase plant species richness at large scales // Science. – 2006. – Vol. 313(5791). – P. 1284 - 1286.
12. Frost G.V., Epstein H.E. Tall shrub and tree expansion in Siberian tundra ecotones since the 1960s // Glob. Chang. Biol. – 2014. – Vol. 20(4). – P. 1264 - 1277. doi: 10.1111/gcb.12406.
13. Fuller M.R., Doyle M.W., Strayer D.L. Causes and consequences of habitat fragmentation in river networks // Ann. N. Y. Acad. Sci. – 2015. – Vol. 1355. – P. 31 - 51. doi: 10.1111/nyas.12853.
14. Garcia A.S., Sawakuchi H.O., Ferreira M.E., Ballester M.V.R. Landscape changes in a neotropical forest-savanna ecotone zone in central Brazil: The role of protected areas in the maintenance of native vegetation // J. Environ. Manage. – 2017. – Vol. 187. – P. 16 - 23. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.11.010.
15. Haddad N.M., Brudvig L.A., Damschen E.I., Evans D.M., Johnson B.L. et al., Potential negative ecological effects of corridors // Conserv Biol. – 2014. – Vol. 28(5). – P. 1178 - 1187. doi: 10.1111/cobi.12323.
16. Harding K.C., Begon M., Eriksson A., Wennberg B. Increased migration in host-pathogen metapopulations can cause host extinction // J. Theor. Biol. – 2012. – Vol. 298. – P. 1 - 7. doi: 10.1016/j.jtbi.2011.12.009.
17. Hess G. Disease in metapopulation models: implications for conservation // Ecology. – 1996. – Vol. 77. – P. 1617 - 1632.
18. Laurance W.F., Camargo J.L.C., Fearnside P.M., Lovejoy T.E., Williamson G.B., et al. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change // Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. – 2018. – Vol. 93(1). – P. 223 - 247. doi: 10.1111/brv.12343.
19. Liang J., He X., Zeng G., Zhong M., Gao X., et al., Integrating priority areas and ecological corridors into national network for conservation planning in China // Sci. Total Environ. – 2018. – Vol. 626. – P. 22 - 29. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.086.
20. McCallum H., Dobson A. Disease, habitat fragmentation and conservation // Proc. Biol. Sci. – 2002. – Vol. 269(1504). – P. 2041 - 2049.

21. Oliveras I., Malhi Y. Many shades of green: the dynamic tropical forest-savannah transition zones // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* – 2016. – Vol. 19. – P. 371(1703). pii: 20150308. doi: 10.1098/rstb.2015.0308.
22. Ratcliffe J.L., Creevy A., Andersen R., Zarov E., Gaffney P.P.J., et al. Ecological and environmental transition across the forested-to-open bog ecotone in a west Siberian peatland // *Sci. Total Environ.* – 2017. – Vol. 607-608. – P. 816 - 828. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.276.
23. Resasco J., Haddad N.M., Orrock J.L., Shoemaker D., Brudvig L.A., Damschen E.I., Tewksbury J.J., Levey D.J. Landscape corridors can increase invasion by an exotic species and reduce diversity of native species // *Ecology.* – 2014. – Vol. 95(8). – P. 2033 - 2039.
24. Shen G., Feng C., Xie Z., Ouyang Z., Li J., Pascal M. Proposed conservation landscape for giant pandas in the Minshan Mountains, China // *Conserv Biol.* – 2008. – Vol. 22(5). – P. 1144 - 1153. doi: 10.1111/j.1523-1739.2008.01038.x.
25. Tingstad L., Olsen S.L., Klanderud K., Vandvik V., Ohlson M. Temperature, precipitation and biotic interactions as determinants of tree seedling recruitment across the tree line ecotone // *Oecologia.* – 2015. – Vol. 179(2). – P. 599 - 608. doi: 10.1007/s00442-015-3360-0.
26. Wilschut L.I., Addink E.A., Heesterbeek H., Heier L., LaDisoït A., et al. Potential corridors and barriers for plague spread in Central Asia // *Int. J. Health Geogr.* – 2013. – Vol. 12:49. doi: 10.1186/1476-072X-12-49.
27. Zhang L., Guo Z.W., Bridge E.S., Li Y.M., Xiao X.M. Distribution and dynamics of risk factors associated with highly pathogenic avian influenza H5N1 // *Epidemiol. Infect.* – 2013. – Vol. 141(11). – P. 2444 - 2453. doi: 10.1017/S0950268813000101.

**1. Шляхи самоочищення геосистем від забруднюючих речовин.**

Виділяють наступні шляхи самоочищення геосистем від забруднюючих речовин:

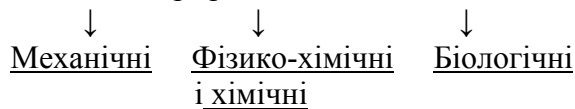
- 1) механічне винесення забруднюючих речовин з геосистеми з вітром, з поверхневими і підземними водами;
- 2) ізолювання забруднюючих речовин на бар'єрах в межах геосистеми;
- 3) деструкція забруднюючих речовин.

**2. Ефективність механічного виносу забруднюючих речовин за межі геосистеми залежить:**

- від форм рельєфу (пониження рельєфу ускладнюють винесення забруднень, орієнтація гірських хребтів може заважати виносу забруднюючих речовин з вітром і т.н.);
- від кліматичних факторів (наявність вітрів і дощів, відсутність туманів і атмосферних інверсій сприяє самоочищенню геосистем);
- від наявності водойм з активним потоком води;
- від типу водно-геохімічного режиму території (промивний режим сприяє виносу забруднюючих речовин з поземними водами, аридний режим - сприяє накопиченню забруднюючих речовин в поверхневому шарі ґрунтів, випітний режим - сприяє привнесенню забруднюючих речовин з інших територій з висхідним потоком ґрунтових вод);
- від механічного та фізико-хімічного складу ґрунтів і підстелюючих гірських порід (тобто, від їх здатності утримувати забруднюючі речовини і тим самим перешкоджати їх механічному виносу за межі геосистеми).

**3. Ізолювання забруднюючих речовин в межах геосистеми на бар'єрах**

Типи бар'єрів в геосистемах:



Роль механічних бар'єрів в геосистемах можуть виконувати: форми рельєфу, які механічно обмежують винос речовин з геосистем; непротічні водойми, в яких відсутнє механічне очищення геосистем і т.н.

**4. Геохімічні бар'єри в геосистемі.**

Якщо сусідні геогоризонти відрізняються за своїми фізичними і хімічними властивостями, то на кордоні між цими геогоризонтами відбувається уповільнення міграції хімічних речовин. Геохімічний бар'єр - це ділянка землі, на якій різко змінюється інтенсивність міграції хімічних елементів. Чим контрастніше властивості сусідніх геогоризонтів, тим ефективніше на них буде затримуватися міграція речовин.

Контрастність бар'єрів обчислюється таким чином:

$$\text{Контрастність бар'єру} = \frac{\text{Умови міграції в геогоризонті А}}{\text{Умови міграції в геогоризонті Б}}$$

**5. Фізико-хімічні бар'єри:**

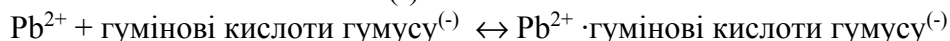
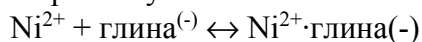
Фізико-хімічні бар'єри:

1. Термодинамічні бар'єри виникають між геогоризонтами, які відрізняються за своєю температурою: при зміні температури ґрунтового розчину змінюється розчинність речовин і частина іонів може випадати з розчину вигляді осаду.

2. Випаровувальні бар'єри виникають між геогоризонтами, які відрізняються за своєю зволоженістю: зменшення зволоженості призводить до підвищення концентрації ґрунтового розчину і до випадання деяких речовин з розчину. Випаровувальні бар'єри виникають при

випотному геохімічному режимі території, коли ґрунтові води піднімаються до поверхневих більш сухих геогоризонтів.

3. Роль сорбційних бар'єрів виконують частинки ґрунтів або гірських порід, на яких можуть адсорбуватися з ґрунтових розчинів ті чи інші хімічні речовини. Наприклад, глинисті мінерали і органічна речовина гумусу мають на поверхні своїх часточок негативно-заряджені молекули і, тому, здатні адсорбувати на своїй поверхні позитивно-заряджені іони з ґрунтового розчину:

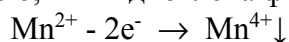


Сорбція - явище зворотне. При надходженні інших іонів можливий іонообмін і повторне потрапляння забруднюючих речовин в ґрунтовий розчин. Крім того, адсорбовані іони доступні для кореневого живлення рослин і можуть потрапляти в харчові ланцюги біоти.

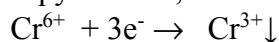
## 6. Хімічні бар'єри.

До хімічних бар'єрів відносяться:

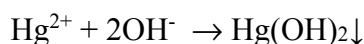
1. Окисні бар'єри - затримують хімічні елементи, якщо окислена форма хімічного елемента є менш рухливою, ніж відновлена форма цього ж елемента:



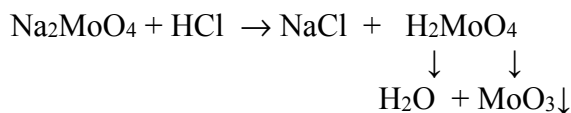
2. Відновлювальні бар'єри - затримують хімічні елементи, якщо відновлена форма хімічного елемента є менш рухливою, ніж окислена форма:



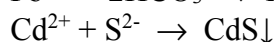
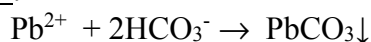
3. Лужні гідроксидні бар'єри - затримують хімічні елементи, гідроксидні форми яких є малорухливими:



4. Кислі бар'єри - затримують хімічні елементи, які є похідними слабких кислот і які є малорозчинними:



5. Сольові (карбонатні, сульфідні та ін.) бар'єри – затримують малорозчинні солі, які утворює хімічний елемент:



Хімічний бар'єр ізолює забруднюючі речовини з геосистеми в тому випадку, якщо він лежить нижче зони кореневого живлення рослин, але, вище дзеркала ґрунтових вод. Якщо геохімічний бар'єр збігається з зоною кореневого всмоктування рослин, то можливе використання токсичних елементів рослинами при їх живленні.

Таблиця 1. Класифікація геохімічних бар'єрів (фрагмент таблиці) (за Перельманом О.І., 1989)

Фізико-хімічні умови	Склад вод, що надходять до геохімічного бар'єра			
	Кисневі води:			
Лужно-кислотні	I. Сильнокислі	II. Кислі і слабокислі	III. Нейтральні і слаболужні	IV. Сильно лужні (содові)
Межі рН у зоні гіпергенезу	< 3	3 – 6,5	6,5 – 8,5	> 8,5
	1	2	3	4
Елементи, рухливі				

у водах будь-якого складу				
Парагенна асоціація	Li, Tl, F, Mg, Ca, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, Tr, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, As, V, Nb, Ta	Li, Tl, F, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ag, Au, Be, Al, Ga, In, Sc, Y, Tr, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, P, As, V, Nb, Ta	Li, Tl, Mg, Ca, Sr, Zn, Se, Cr, Mo, W, U, Re	Li, F, B, Zn, Cu, Ag, Be, Al, Sc, Y, Si, Ge, Sn, Ti, Zr, Th, Cr, Mo, W, U, Re, V, Nb
Кисневий бар'єр А	A1 Fe	A2 Fe, Mn, Co	A3 Mn	A4 -
Сульфідний бар'єр (сірководневий) В	B1 Tl, Cu, Hg, Pb, Cd, Bi, Sn, As, Sb, Mo, W, U	B2 Tl, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Sn, Cr, Mo, U	B3 Tl, Cr, Mo, U, Se, Re, V	B4 Cu, Ag, Zn, Cr, Mo, U, V, As
Глейовий бар'єр С	C1 Cu, U, Mo	C2 Cu, U, Mo	C3 Cu, Cr, U, Mo, Re, Se, V	C4 Cu, Ag, Cr, Mo, U, Re, Se, V, As
Лужний бар'єр D	D1 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, Tr, Cr, P, As, U	D2 Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Be, U	D3 -	D4 -
Кислий бар'єр E	E1 -	E2 -	E3 Si, Mo	E4 (Cu), (Zn), Ag, Be, Al, Ga, Sc, Y, Tr, Si, (Ge), Zr, (Ti), Mo, Cr, V
Випаровувальний бар'єр F	F1 Na, K, Rb, Tl, Cl, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Al, Mo, U	F2 -	F3 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Mg, Ca, Sr, S, Zn, Mo, U, V, Se	F4 Li, Na, K, Rb, Tl, N, B, F, Cl, Br, I, Cu, Zn, Mo, U, Se
Сорбційний бар'єр G	G1 Al, Sc, Ga, Si, Ge, P, V, As	G2 Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, Cl, Br, I, F, S, P, V, Mo, As	G3 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, Zn, (Cl, Br, I, F, B, S, P, V, Mo, As)	G4 Li, Na, K, Rb, Cs, Tl, (Cl, Br, I, B, F, S, P, V, Mo, As)
Термодинамічний бар'єр H	H1 -	H2 Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Zn, Pb, Co, Ni	H3 (Li), Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Pb	H4 Zn, (Cu), (U)

Таблиця 2.

<b>Типи природніх і штучних геохімічних бар'єрів</b>	<b>Хімічні елементи, які осідають на даних геохімічних бар'єрах</b>
Лужні бар'єри (технологічний варіант –	Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb,



роздріблені вапняки, доломіти, мергелі, карбонатні горизонти ґрунтів, відходи содового виробництва і т.п.).	Cd, Hg, Be, Al, Ga, Y, Tr, Cr, P, As, U та інш. <b>NB:</b> Крім органо-металічних сполук цих елементів.
<b>Кислі бар'єри</b>	Si, Mo, Ag, Be, Al, Ga, Sc, Y, Tr, Ge, Zr, Ti, Cr, V, Se та інш.
<b>Глейові бар'єри</b>	Cu, U, Mo, Cr, Re, Se, V, Ag, As та інш.
<b>Сульфідні бар'єри</b> (технологічний варіант – використання піритних огарків і т.п.)	Tl, Cu, Hg, Pb, Cd, Bi, Sn, As, Sb, Mo, W, U, Co, Ni, Zn, Cr, U, Se, Re та інш.
<b>Окислювальні бар'єри</b>	Fe, Mn, Co, Al та інш.
<b>Сорбційні бар'єри</b> (технологічний варіант – використання торфу, глини і т.п.)	Rb, Cs, Tl, Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, I, F, Mo, As, Se, Cr, Sb та інш.



А.І. Перельман (1916 - 1998) (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).

Олександр Ілліч Перельман є одним з основоположників геохімії ландшафтів.

Він розробив вчення про геохімічні бар'єри, створив геохімічну класифікацію ландшафтів, досліджував основні закономірності поведінки хімічних елементів в географічній оболонці.

Запропоновані ним поняття в даний час є одними з фундаментальних в геохімії і дають пояснення багатьом аномальним концентраціям елементів в ландшафтах і в зоні гіпергенезу в цілому ([http://www.igem.ru/lab\\_radio/pamiat/perelman.htm?p=history8](http://www.igem.ru/lab_radio/pamiat/perelman.htm?p=history8)).

### 7. Біологічні бар'єри.

Відомо, що живі організми здатні накопичувати в своєму тілі техногенні забруднюючі речовини у великих кількостях, тим самим забезпечуючи самоочищення ландшафтів. Під біологічним бар'єром розуміють селективне і надмірне накопичення в живих організмах хімічних елементів.

Ефективність накопичення забруднюючих речовин в біологічних системах оцінюється за величиною коефіцієнта біологічного поглинання:

$$K_{\text{біол.поглинання}} = \frac{\text{Концентрація хімічного елемента в організмі}}{\text{Концентрація хімічного елемента в навколишньому середовищі}}$$

Коефіцієнт біологічного поглинання - це відношення вмісту хімічного елемента в живому організмі до його вмісту в навколишньому середовищі. Наприклад, в м.Чернівці, в рослинах свинець і мідь накопичуються в концентрації, яка в 50-100 разів перевищує фонові значення.

Показана видова спеціалізація рослин щодо типу токсичних хімічних елементів, які накопичуються рослиною:

- злакові накопичують переважно свинець, мідь, цинк;
- верба накопичує цинк і стронцій;
- акація накопичує свинець, бор, молібден і стронцій;

- мохи та лишайники накопичують важкі метали і радіоактивні елементи в концентраціях, які в 10 разів перевищують накопичення цих же речовин в організмі трав'янистих рослин і т.н.

Таким чином, рослини є потужним біологічним бар'єром, який ізолює техногенні елементи з геосистеми. З метою проведення рекультивації земель, території, які необхідно очистити від того чи іншого типу забруднюючих речовин, засівають рослинами - специфічними накопичувачами тих чи інших токсинів. Після завершення вегетаційного періоду, рослини, які накопичили токсини, вивозять і знищують, або захоронюють на спеціальних полігонах.

**Рослини - накопичувачі важких металів, які можна використовувати для фітореMediaції забруднених територій і акваторій.** Yuan Y. з колегами (2016) в районі сховищ відходів виробництва, були описані рослини, здатні рости на ґрунтах, забруднених важкими металами (хромом, кадмієм, свинцем, міддю і цинком). Аналіз показав, що деякі з цих рослин (зокрема, *Nerium indicum* і *Zephyranthes candida*) є накопичувачами хрому та інших важких металів і можуть бути рекомендовані в якості піонерних видів на забруднених ґрунтах (за Yuan et al., 2016).



Олеандр індійський (*Nerium indicum*) (за <https://www.evaveda.com/spravochnye-materialy/...>).



Зефірантес (*Zephyranthes candida*) (за [https://en.wikipedia.org/wiki/Zephyranthes\\_candida](https://en.wikipedia.org/wiki/Zephyranthes_candida)).

Для фітореMediaції забруднених вод, використовують водні рослини, гіпернакопичувачі важких металів: *Pistia stratiotes*, *Eichhornia* spp., *Lemna* spp. і *Salvinia* spp. (за Rezanian et al., 2016).



Рослини водного салату (*Pistia stratiotes*) є накопичувачами марганцю, ртуті та інших важких металів (за Rezanian et al., 2016).



Ряска (*Lemna minor*) здатна накопичувати нікель, мідь, кадмій, цинк, марганець, уран, бор і миш'як (за Rezanian et al., 2016).

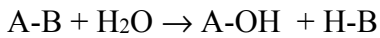
## 8. Деструкція забруднюючих речовин

Розкладання забруднюючих речовин в геосистемах може йти як через фізико-хімічну, так і через біологічну деструкцію.

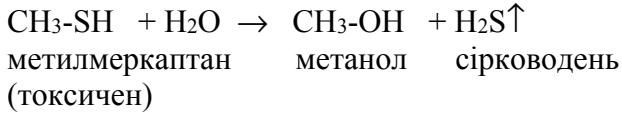
Основні шляхи деструкції техногенних забруднюючих речовин в геосистемах:

I. Фізико-хімічне розкладання техногенних забруднюючих речовин за допомогою води, кисню, озону, ультрафіолетового випромінювання навколишнього середовища:

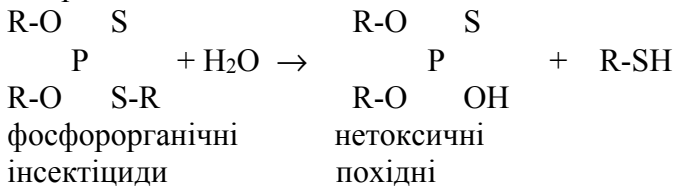
1. Гідроліз:



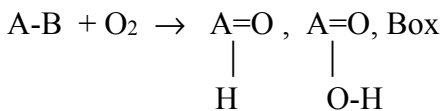
Наприклад:



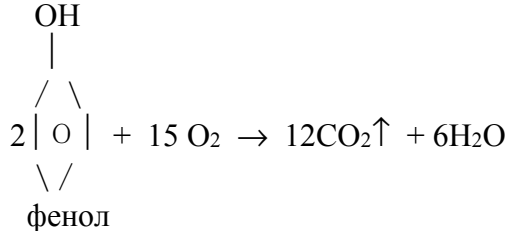
Наприклад:



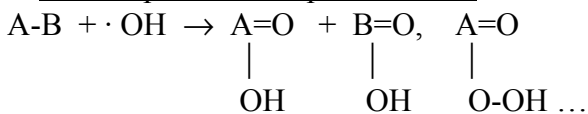
2. Окислення:



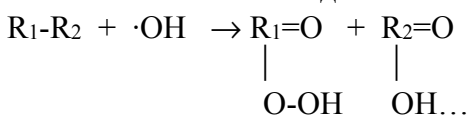
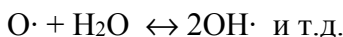
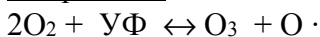
Наприклад:



3. Вільно-радикальне розкладання:



Наприклад:



вуглеводні      продукти розкладення вуглеводнів, СПАР  
нафти, СПАР

II. Біологічне розкладання техногенних забруднюючих речовин.

Біологічне розкладання техногенних забруднюючих речовин відбувається за рахунок ферментів, які виділяють в навколишнє середовище мікроорганізми, гриби, актиноміцети. Зокрема, в навколишнє середовище виділяються гідролітичні, окислювальні, ліполітичні,

денітрифікуючі і ін. ферменти. Для всіх типів природних сполук є ферменти, еволюційно вироблені організмами, для розщеплення практично всіх хімічних зв'язків. Проблеми часто виникають з синтетичними похідними, оскільки іноді вони містять такі типи хімічних зв'язків, які не пізнаються природними ферментами мікроорганізмів. Сьогодні, одна з основних вимог до нових матеріалів - ці матеріали повинні руйнуватися в природних умовах, або повинна бути розроблена технологія їх утилізації та знешкодження.

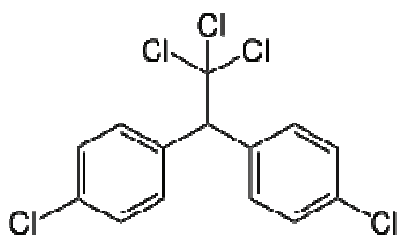
При одночасному забрудненні геосистеми декількома видами забруднюючих речовин мікроорганізми в першу чергу утилізують той субстрат, з якого легше отримати енергію. Так, при одночасному попаданні в водойму нафтопродуктів і синтетичних поверхнево-активних речовин, на початку мікроорганізми розкладають вуглеводні нафти і лише потім приступають до деструкції СПАР. При цьому важливо підкреслити, що СПАР є більш токсичними для навколишнього середовища сполуками, в порівнянні з нафтопродуктами. Якщо розкладання різних забруднюючих речовин ведуть різні групи мікроорганізмів, то процеси деструкції можуть йти паралельно. Хоча, можуть і сповільнюватися або прискорюватися, в залежності від характеру проміжних продуктів деструкції, а також від особливостей конкурентних взаємин між мікроорганізмами різних груп.

У геосистемах практично завжди відбувається одночасне руйнування техногенних забруднюючих речовин як в результаті протікання фізико-хімічних процесів, так і в результаті їх ферментації мікроорганізмами. Співвідношення двох типів деструкції при розкладанні того чи іншого типу забруднюючих речовин залежить:

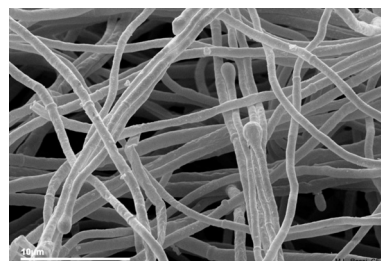
- від типу забруднення (наприклад, фізико-хімічна: біологічна деструкція для нафтопродуктів 1: 1, для бензапирена 4: 1 і т.п.).
- від кліматичних умов (при недостатній кількості сонячної радіації переважно йде біологічна деструкція).

Наприклад, початкові етапи деструкції хлорорганічного інсектициду ДДТ можуть протікати наступним чином:

- окислення ДДТ ( $O_2$ ) → ...
- ДДТ → вільно-радикальне розкладання ДДТ (УФ,  $O_3$ ) → ...
- бактеріальне розкладання ДДТ (*Enterobacter aerogenes*) → ...
- грибокве розкладання ДДТ (*Fusarium oxysporum*) → ...



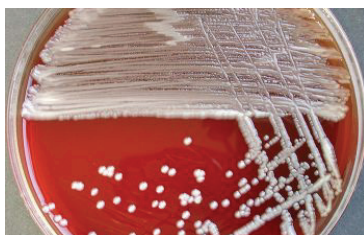
Структурна формула інсектициду ДДТ (дуст)  
(за [https:// ru.wikipedia.org/wiki/](https://ru.wikipedia.org/wiki/)).



Гіфи гриба *Fusarium oxysporum* під електронним мікроскопом (за [https://yandex.fr/images/search?img\\_url](https://yandex.fr/images/search?img_url)).

Період напіврозпаду техногенних забруднюючих речовин може змінюватися в дуже широкому діапазоні: від декількох діб (наприклад, для алкілсульфатів - одним з різновидів синтетичних поверхнево-активних речовин) до декількох десятків років (наприклад, для хлорорганічного інсектициду ДДТ період напіврозпаду становить 10 років).

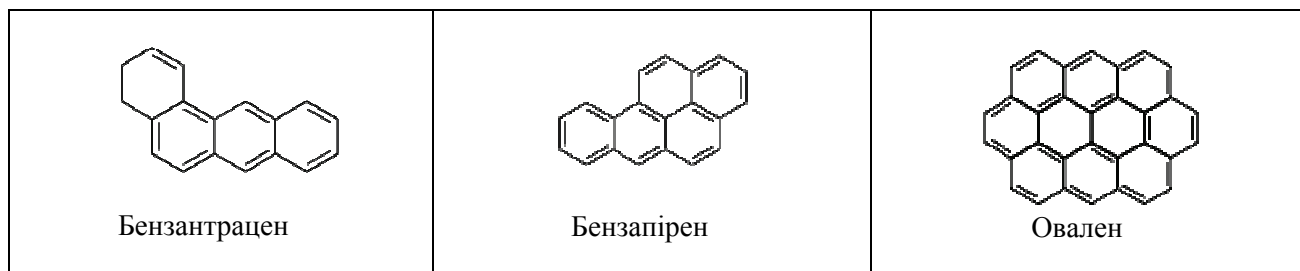
**Самоочищення екосистем, забруднених сирими нафтопродуктами.** З ґрунтів, забруднених сирими нафтопродуктами, Abou-Shanab R.A. з колегами (2016) були виділені бактерії, здатні руйнувати нафту: *Ochrobactrum cytisi* (штам RAM03), *Ochrobactrum anthropi* (штами RAM06 та RAM17) і *Sinorhizobium meliloti* (штам RAM13). Авторами роботи була показана можливість використання даних штамів бактерій для біоремедіації екосистем, забруднених сирою нафтою (за Abou-Shanab et al., 2016).



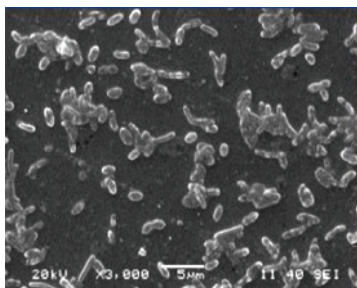
Бактерії *Ochrobactrum anthropi* на поживному середовищі в чашці Петрі. Дані ґрунтові бактерії здатні руйнувати сирі нафтопродукти, що потрапили в ґрунт (за <http://resizeandsave.online/openphoto.php?img>).

**Природна біодеградація поліциклічних ароматичних вуглеводнів.** Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) – це органічні сполуки, для яких характерна наявність в хімічній структурі двох і більше конденсованих бензольних кілець. Основними джерелами техногенних ПАВ в навколишньому природному середовищі є підприємства енергетичного комплексу, автомобільний транспорт, хімічна і нафтопереробна промисловість.

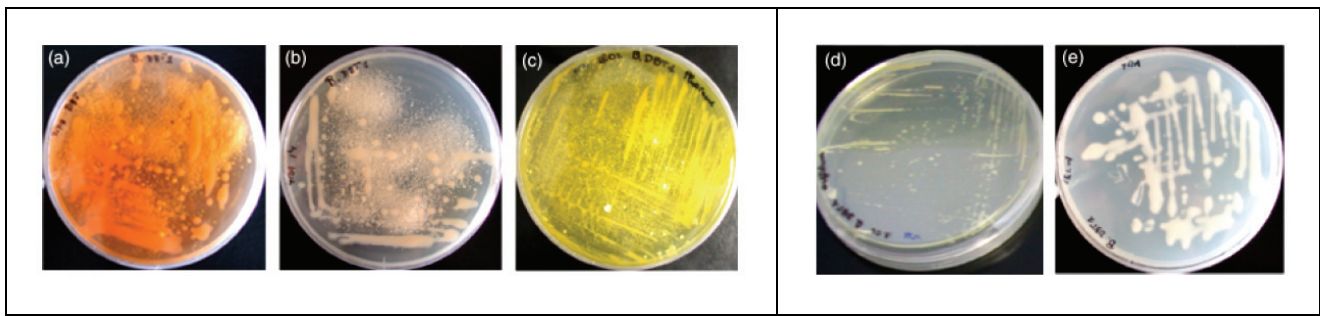
В основі практично всіх техногенних джерел ПАВ лежать термічні процеси, пов'язані зі спалюванням і переробкою органічної сировини: нафтопродуктів, вугілля, деревини, сміття, їжі, тютюну та ін. Багато поліциклічних ароматичних вуглеводнів є сильними хімічними канцерогенами. Такі сполуки, як бензантрацен, бензапірен і овален, мають яскраво виражені канцерогенні, мутагенні і тератогенні властивості (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>).



Поліциклічні ароматичні вуглеводні небезпечні для живих організмів. Однак, в екосистемах, які хронічно забруднюються даними речовинами, дослідники виділяють штамми бактерій, здатних руйнувати дані токсичні сполуки.

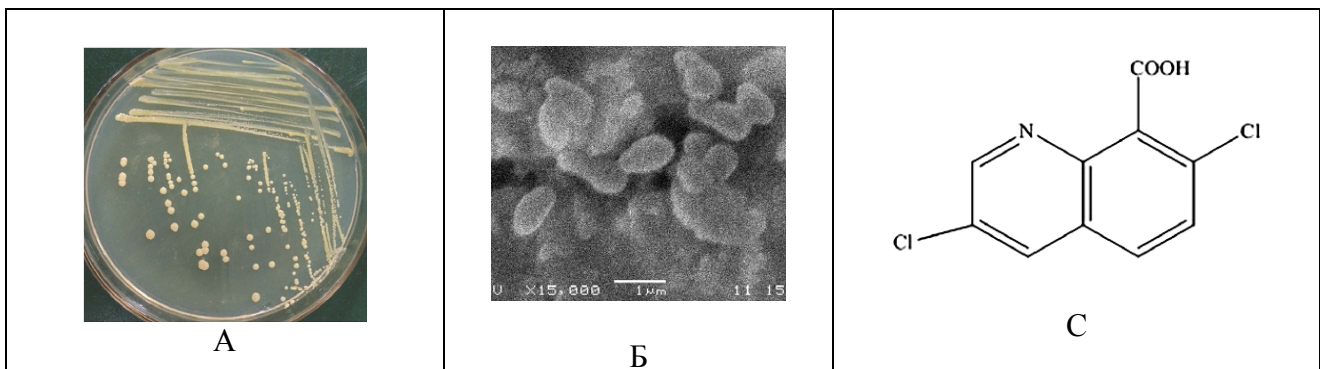


Морські бактерії *Stenotrophomonas acidaminihila* під електронним мікроскопом. Ці бактерії здатні руйнувати поліциклічні ароматичні вуглеводні, які потрапляють в природні води в складі промислових і побутових стічних вод (за Mangwani et al., 2014).

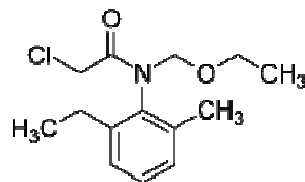


Бактерії буркхолдерії *Burkholderia* sp. лінії DBT1 протягом трьох днів руйнують поліциклічні ароматичні вуглеводні, додані до поживного середовища. Ці бактерії були виділені з дренажу стічних вод нафтопереробного заводу. Було запропоновано використовувати даних бактерій для біоремедіації ґрунтів, забруднених поліциклічними ароматичними вуглеводнями. На фотографіях бактерії буркхолдерії на поживних середовищах, що містять різні поліциклічні ароматичні вуглеводні: а - дібензотіофен; б - фенантрен; з - флуорит; d - нафтален; е - бактерії на поживному середовищі без поліциклічних ароматичних вуглеводнів (контроль) (за Andreolli et al., 2011).

**Природна біодеградація гербіцидів.** Квінхлорак - це один із широко використовуваних гербіцидів на рисових полях. При цьому залишкові кількості квінхлорака фітотоксичні для багатьох рослин. Деградація квінхлорака в природних умовах відбувається дуже повільно. Li Y. з колегами (2017) з ґрунтів, забруднених квінхлорак, ізолювали штам F4 бактерій *Mycobacterium* sp., здатних ефективно руйнувати даний гербіцид. Автори роботи пропонують використовувати даний штам бактерій *Mycobacterium* sp. для біоремедіації ґрунтів, забруднених квінхлорак (за Li Y. et al., 2017).



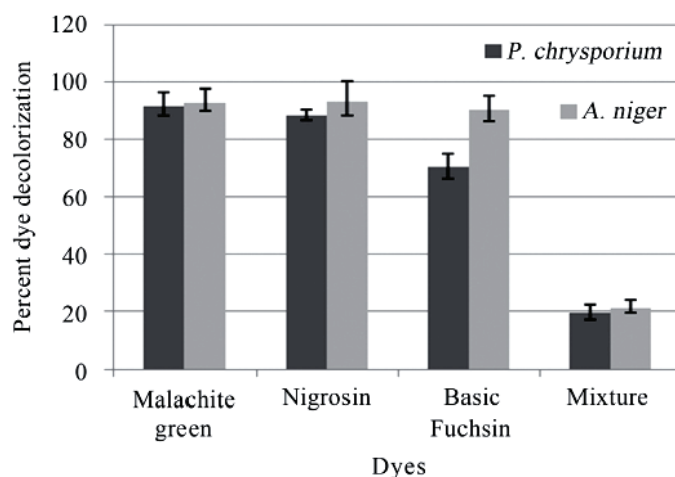
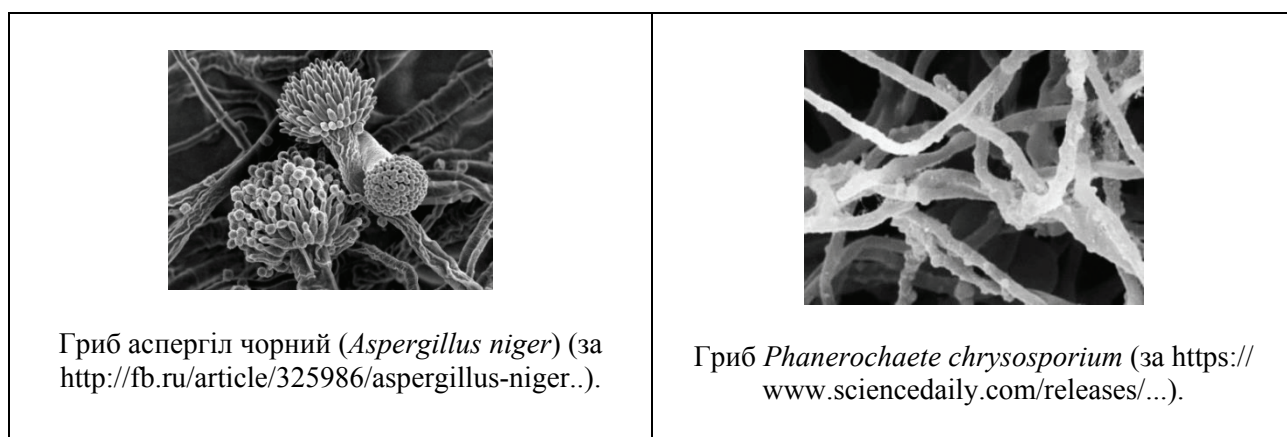
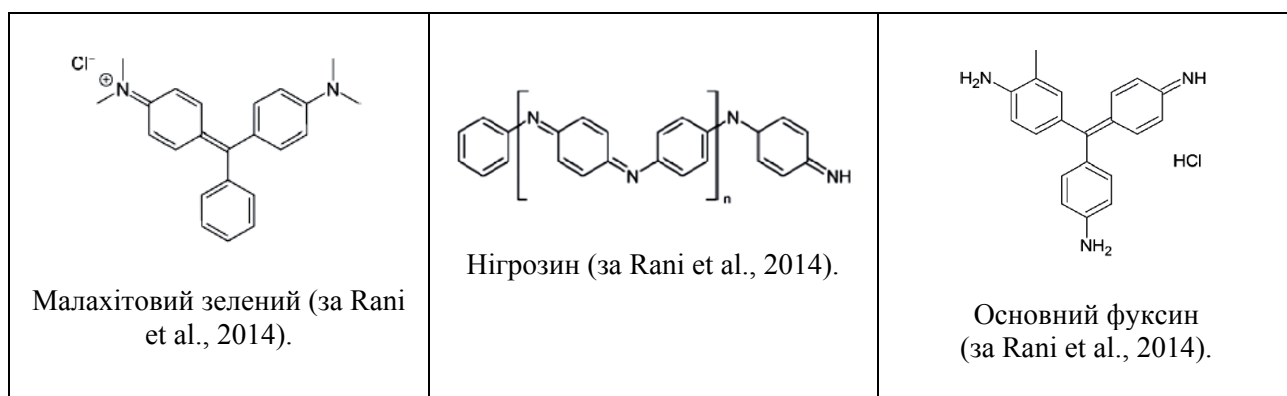
А, Б - Мікобактерії *Mycobacterium* sp. штаму F4, які розкладають гербіцид квінхлорак; С - структурна формула гербіциду квінхлорак, який широко застосовується на рисових полях (за Li Y. et al., 2017).



Структурна формула гербіциду ацетохлор. Ацетохлор використовується для знищення бур'янів на посівах цукрової кукурудзи, кабачка, кави і цукрового буряка. Канцероген, крім того - викликає ушкодження щитовидної залози. Один з гербіцидів, який найбільш часто виявляють в поверхневих водах природних водойм (за <https://ru.wikipedia.org/wiki/>). Erguven G.O. (2018) з ґрунтів, забруднених гербіцидом ацетохлор, були виділені гриби *Tolypocladium geodes* і *Cordyceps cicadae*, здатні руйнувати даний гербіцид. Дослідження, проведені автором роботи, дозволяють запропонувати дані гриби для біоремедіації ґрунтів, забруднених цим гербіцидом (за Erguven, 2018).

**Природна біодеградація техногенних барвників.** Швидка індустріалізація та урбанізація призводять до потрапляння до навколишнього середовища значної кількості барвників, багато з яких є токсичними і канцерогенними для живих організмів. Наприклад, 15% барвників, які використовуються в текстильному виробництві, потрапляють з технічними стічними водами підприємств в навколишнє середовище. При цьому деколорізація (знебарвлення) стічних вод є досить дорогою проблемою.

Rani B. з колегами (2014) з ґрунтів, забруднених барвниками, були виділені два гриби *Aspergillus niger* і *Phanerochaete chrysosporium*. Лабораторні дослідження показали, що ці гриби викликають знебарвлення барвників малахітового зеленого, нігрозину і основного фуксину і здатні нейтралізувати їх токсичну дію. Зокрема, в біотест-системі проростаюче насіння, було показано, що ці гриби здатні детоксикувати тестовані барвники. Rani B. з колегами (2014) рекомендовано використовувати дані гриби для біоремедіації води і ґрунтів, забруднених барвниками даного типу (за Rani et al., 2014).

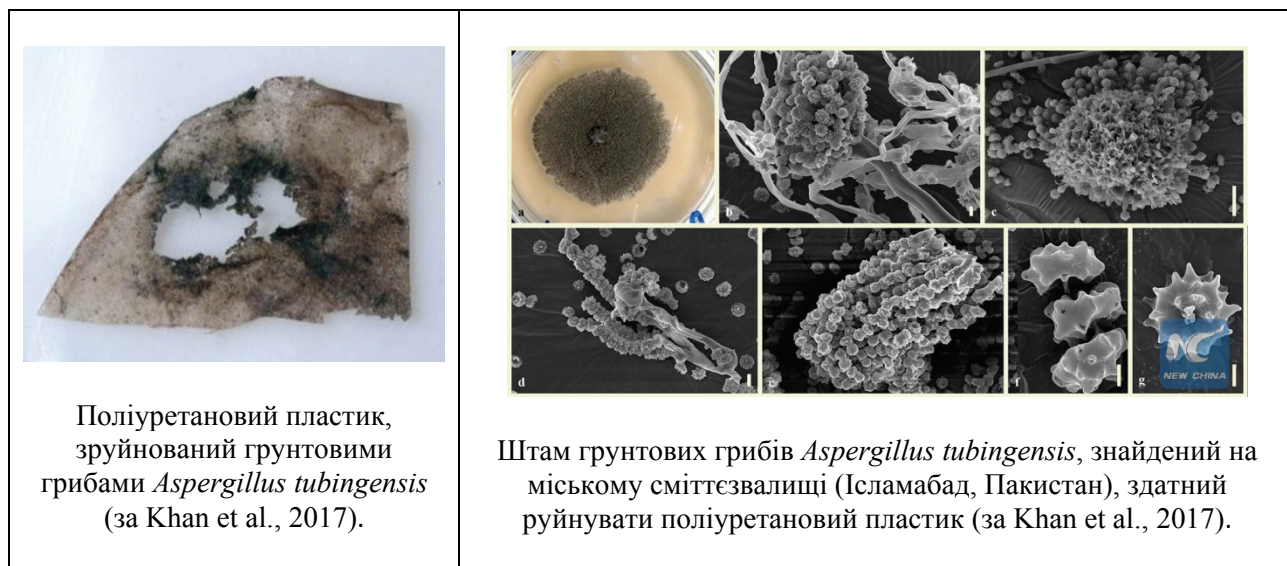


Знебарвлення барвників ґрунтовими грибами *Aspergillus niger* і *Phanerochaete chrysosporium* (за Rani et al., 2014).



Тест проростаюче насіння - показав зниження токсичності барвників завдяки присутності грибів, зокрема, аспергіла чорного (*Aspergillus niger*) (за Rani et al., 2014).

**Природна деградація поліуретанового пластику.** Нещодавно на міському звалищі відходів (Ісламабад, Пакистан) Khan S. з колегами (2017) було знайдено штамп ґрунтових грибів *Aspergillus tubingensis*, спроможних розкласти поліуретановий пластик. Тривалий час вважалося, що природні деструктори – бактерії та гриби – не спроможні до деградації штучних полімерних матеріалів. Знахідка вчених спростувала ці припущення. Таким чином, природний мутагенез спроможний забезпечити появу організмів-деструкторів для синтетичних матеріалів, які не мають природних аналогів (за Khan et al., 2017).



**Контрольні питання:**

1. Основні шляхи самоочищення геосистем.
2. Умови, які впливають на самоочищення геосистем.
3. Поняття «геохімічний бар'єр». Розрахунок контрастності геохімічного бар'єру.



4. Фізико-хімічні бар'єри: адсорбційні, термодинамічні, випаровувальні.
7. Геохімічні бар'єри: окислювальні, відновлювальні, лужні, кислі та сольові бар'єри.
8. Біологічні бар'єри. Коефіцієнт біологічного поглинання.
9. Основні шляхи деструкції техногенних забруднюючих речовин в геосистемах.
10. Фізико-хімічне розкладання техногенних забруднюючих речовин.
11. Біологічне розкладання техногенних забруднюючих речовин.
12. Фактори, які впливають на швидкість деструкції техногенних забруднюючих речовин в геосистемах.
13. Винесення забруднюючих речовин за межі геосистеми з вітром, з підземними і поверхневими водами.

#### **Література:**

1. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989.
2. Остроумов С.А. Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем. – М.: МАКС Пресс, Учебное пособие, 2005. – 100 с.
3. Винник В.В., Овчаров С.Н. Самоочищение почв, загрязнённых сырой нефтью в присутствии местных форм дождевых червей / Сб. науч. труд. «Актуальные проблемы биологии, медицины, экологии», под ред. проф. Ильинских Н.Н. - 2004 (выпуск 1).
4. Abou-Shanab R.A., Eraky M., Haddad A.M., Abdel-Gaffar A.B., Salem A.M. Characterization of Crude Oil Degrading Bacteria Isolated from Contaminated Soils Surrounding Gas Stations // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 2016. – Vol. 97(5). – P. 684 - 688.
5. Andreolli M., Lampis S., Zenaro E., Salkinoja-Salonen M., Vallini G. Burkholderia fungorum DBT1: a promising bacterial strain for bioremediation of PAHs-contaminated soils // FEMS Microbiol Lett. – 2011. - Vol. 319(1). – P. 11 - 18. doi: 10.1111/j.1574-6968.2011.02259.x.
6. Erguven G.O. Comparison of Some Soil Fungi in Bioremediation of Herbicide Acetochlor Under Agitated Culture Media // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 2018. – Vol. 24. doi: 10.1007/s00128-018-2280-1.
7. Khan S., Nadir S., Shah Z.U., Shah A.A., Karunarathna S.C., Xu J., Khan A., Munir S., Hasan F. Biodegradation of polyester polyurethane by *Aspergillus tubingensis* // Environ. Pollut. – 2017. – P. 225. – P. 469 - 480. doi: 10.1016/j.envpol.2017.03.012.
8. Li Y., Chen W., Wang Y., Luo K., Li Y., Bai L., Luo F. Identifying and sequencing a *Mycobacterium sp.* strain F4 as a potential bioremediation agent for quinclorac // PLoS One. – 2017. – Vol. 12(10): e0185721. doi: 10.1371/journal.pone.0185721
9. Mangwani N., Shukla S.K., Kumari S., Rao T.S., Das S. Characterization of *Stenotrophomonas acidaminiphila* NCW-702 biofilm for implication in the degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons // J. Appl. Microbiol. – 2014. – Vol. 117(4). – P. 1012 - 1024. doi: 10.1111/jam.12602.
10. Rani B., Kumar V., Singh J., Bisht S., Teotia P., Sharma S., Kela R. Bioremediation of dyes by fungi isolated from contaminated dye effluent sites for bio-usability // Braz. J. Microbiol. – 2014. – Vol. 45(3). – P. 1055 – 1063.
11. Rezania S., Taib S.M., Md Din M.F., Dahalan F.A., Kamyab H. Comprehensive review on phytotechnology: Heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater // J. Hazard. Mater. – 2016. – Vol. 318. – P. 587 - 599. doi: 10.1016/j.jhazmat.2016.07.053.
12. Yuan Y., Yu S., Bañuelos G.S., He Y. Accumulation of Cr, Cd, Pb, Cu, and Zn by plants in tanning sludge storage sites: opportunities for contamination bioindication and phytoremediation // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. – 2016. – Vol. 23(22). – P. 22477 - 22487.

## Відомості про авторів

**Кундельчук Оксана Петрівна**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та географії Херсонського державного університету. Викладає наступні дисципліни: «Методологія геоекологічних досліджень», «Основи загальної екології та неоекологія», «Палеоекологія», «Теорія еволюції». Сфера наукових інтересів: геоекологія, екологія, палеоекологія, молекулярні основи екологічних адаптацій сучасних організмів, закономірності еволюційних процесів в історії розвитку життя на Землі.

**Давидов Олексій Віталійович**, кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри екології та географії Херсонського державного університету. Викладає наступні дисципліни: «Геоморфологія», «Фізична географія материків та океанів», «Загальне землезнавство», «Палеогеографія». Сфера наукових інтересів: геоморфологія морських берегів, палеогеографія, палеоекологія.

*Навчально-методичне видання*

*Кундельчук Оксана Петрівна  
Давидов Олексій Віталійович*

## **МЕТОДОЛОГІЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### ***КОНСПЕКТИ ЛЕКЦІЙ***

Навчальний посібник  
для студентів спеціальностей  
106 Географія, 103 Науки про Землю,  
014.07 Середня освіта (Географія)

**ISBN 978-617-7573-28-8**

Підписано до друку 02.07.2018 р.  
Формат 60x 84/8. Папір офсетний  
Наклад 300 примірників. Гарнітура Times New Roman.  
Друк ризографія. Ум. друк. арк. 24,34. Обл.-вид. арк. 26,17.  
Замовлення № 825.

Книжкове видавництво ПП Вишемирський В.С.  
Свідоцтво про внесення до державного реєстру  
суб'єктів видавничої справи: серія ХС № 48 від 14.04.2005  
видано Управлінням у справах преси та інформації  
73000, Україна, м. Херсон, вул. Соборна, 2.  
Тел. (050) 133-10-13, (050) 514-67-88  
e-mail: printvvs@gmail.com