

# **Биокосные системы Земли**

**В.О.Таргульян**

**Институт географии РАН**

**Апрель 2013г.**

**(к 150-летию В.И.Вернадского, МГУ)**

# **Основные сюжеты доклада:**

- экзогенные системы и оболочки планет;**
  - экзоны, ситоны, трансоны;**
  - есть ли почвы на Марсе?**
- биокосные бескаркасные и каркасные системы;**
- биокосные инситные каркасные системы Земли:  
почвы и коры выветривания(ситоны);**
  - память почв;**
- есть ли цели в развитии почв во времени**

# Планеты и оболочки



Планеты земной группы (литосферные).  
Слева направо: Меркурий, Венера, Земля и Марс  
(размеры в масштабе, межпланетные расстояния — нет)

Полный набор оболочек – только на Земле

# Основные «первичные» оболочки планет земной группы:

---

Литосфера	}	}	}	}	все планеты земной группы
Космо-гелио	}	}	}	}	Луна, Меркурий
Атмосфера -	}	}	}	}	Венера
Гидросфера -	}	}	}	}	Марс (палеогидро)
Биота -	}	}	}	}	Земля

**Взаимодействие этих оболочек  
создает на поверхности планет  
производные оболочки –  
экзогенные и биокосные**

# **ЭКЗОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ОБОЛОЧКИ**

**Взаимодействие планетных литосфер  
с любой внешней средой  
формирует экзогенные системы и  
оболочки на поверхности планет земной  
группы;**

**Это реголиты или ЭКЗОНЫ –  
твёрдофазные, полидисперсные, рыхлые  
образования разного генезиса**

# Экзогенные системы взаимодействия на поверхности планет (экзоны)

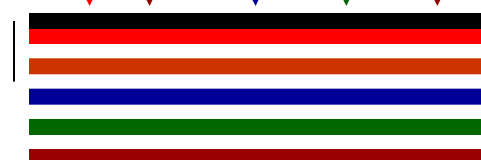
космические и солнечные потоки вещества и энергии, тектоника

атмосферные потоки и циклы

гидросферные потоки и циклы

биосферные потоки и циклы

антропоферные потоки и циклы



**Луна**

**Венера**

**Марс**

**Земля**

**Земля с человеком**

космо-гелио-  
лито-взаимо-  
действия

космо-гелио-  
атмо-лито  
взаимо-  
действия

космо-гелио-  
атмо-  
палеогидро-  
лито-взаимо-  
действия

космо-гелио-  
атмо-гидро-  
био-лито-  
взаимодейств.

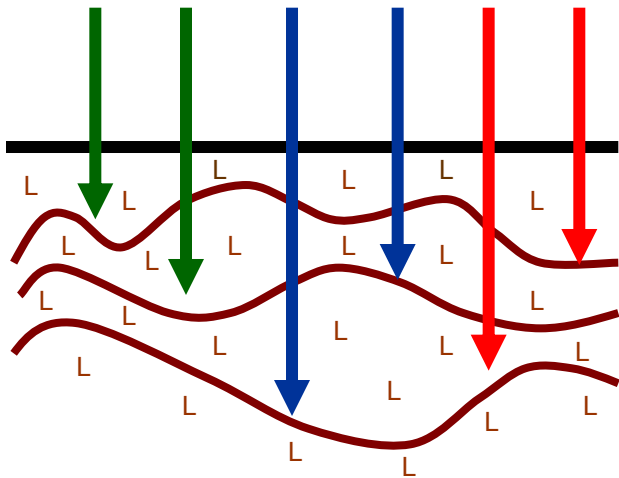
космо-гелио-атмо-  
гидро-био-лито-  
антропо-  
взаимодействия.

**усложнение**

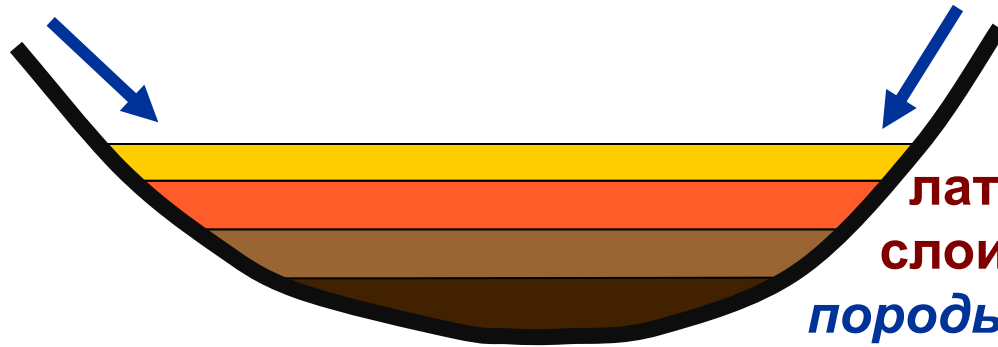




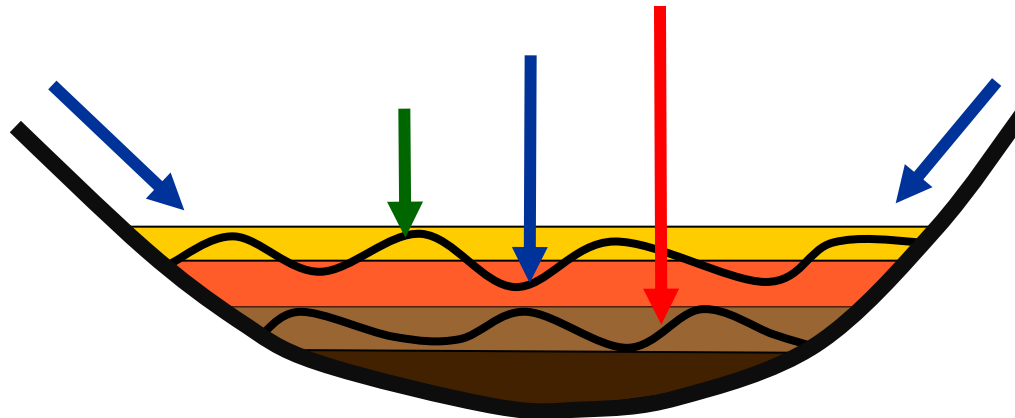
# Основные типы экзонов



**СИТОН:** сформированная *in situ* последовательность горизонтов в верхних слоях литосферы: почвы, коры выветривания, сапролиты: породы «разъедаются» процессом



**ТРАНСОН:** сформированные латеральным переносом слоистые осадочные толщи: породы «покрываются» осадками



**ТРАНССИТОН:** сочетание латеральных и инситуных экзогенных процессов: и то и другое



**ЭКЗОМАРСА**





**Горные тропические дождевые леса  
с почвами и корами выветривания  
Какой контраст с Марсом!**





# **СИТОН ЗЕМЛИ**

**тропическая  
ферраллитная  
почва**

**Есть ли почвы на Марсе?**

**Хм!**

**В научной литературе опубликованы сотни статей и десятки книг о природе Луны и Марса – планетах земной группы.**

**Однако, до сих пор эти знания стоят особняком по отношению к знаниям о природе Земли.**

**Широко используются термины Lunar soils и Martian soils, но серьезной попытки рассмотреть планетные реголиты с позиций земного почвоведения до сих пор не сделано.**

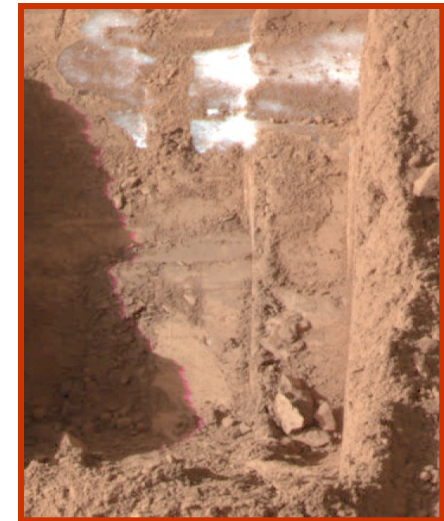


# Понятие почвы применительно к Земле и Марсу



Понятие «почва», профессионально используемое в почвоведении на Земле, означает: природная многофазная, биокосная система, возникающая и функционирующая *in situ* в верхних слоях литосферы благодаря ее взаимодействию с солнечной радиацией, атмо-гидро-сферой и **биотой**;

Понятие «soil» широко используется в зарубежной литературе по Марсу для обозначения **«любого рыхлого материала, который отличается от твердой породы»**. Присутствие или отсутствие мертвого органического вещества или биоты не оговаривается» (цит. по Soderblom et al., 2004).



Таким образом, в понятие «soil» на Земле и на Марсе вкладываются существенно разные значения

# Специфика генетической парадигмы почвоведения:

Среди всех поверхностных рыхлых образований на земной суше **только почвы и коры выветривания являются биокосными телами, сформированными in situ** за счет трансформации верхнего слоя литосферы экзогенными земными факторами и процессами.

Поэтому они обладают инситной, «точечной» памятью об этих факторах и процессах.

В этом их принципиальное отличие от обширной группы рыхлых отложений – осадков и осадочных пород, которые образованы не столько инситными, сколько латеральными процессами мобилизации, переноса и седиментации вещества на земной поверхности



**Может ли генетическая парадигма  
почвоведения  
быть приложена к изучению  
реголитов Марса и других планет  
земной группы?**

**Формула Докучаева-Йенни**

$$S_{\text{in situ}} = f(c, l, o, r, p) t$$

**где: c - climate, l - organisms, o - relief,  
r - parent rock, p - time**

# **Ортодоксальный ответ:**

**Следуя ортодоксально Докучаевской парадигме, мы должны заключить, что на Марсе и Луне нет почв в истинном смысле слова:**

- Луна – отсутствие атмосферы, гидросферы и биоты**
- Марс – отсутствие биоты, жидкой гидросферы в настоящее время  
(палеогидросфера ~ 2 миллиарда лет т.н.)**

**Почв как биокосных систем – не обнаружено**

# Неортодоксальный ответ:

попытка развить более общую концепцию экзогенных процессов и тел на поверхности планет земной группы:

**ЭКЗОНЫ, СИТОНЫ, ТРАНСОНЫ.**

В формуле -  $S = f (cl, o, r, p,) t$  –

вместо символов земных факторов почвообразования  
МОЖНО ПОСТАВИТЬ СИМВОЛЫ ЛЮБЫХ ВНЕЗЕМНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ  
агентов воздействия на литосферу -  $a_1, a_2, a_3, \dots$ ,  
(как, например, метеоритная бомбардировка, солнечный  
ветер, углекислотная атмосфера и др.... )

Тогда общая формула любых планетарных экзогенных  
взаимодействий:

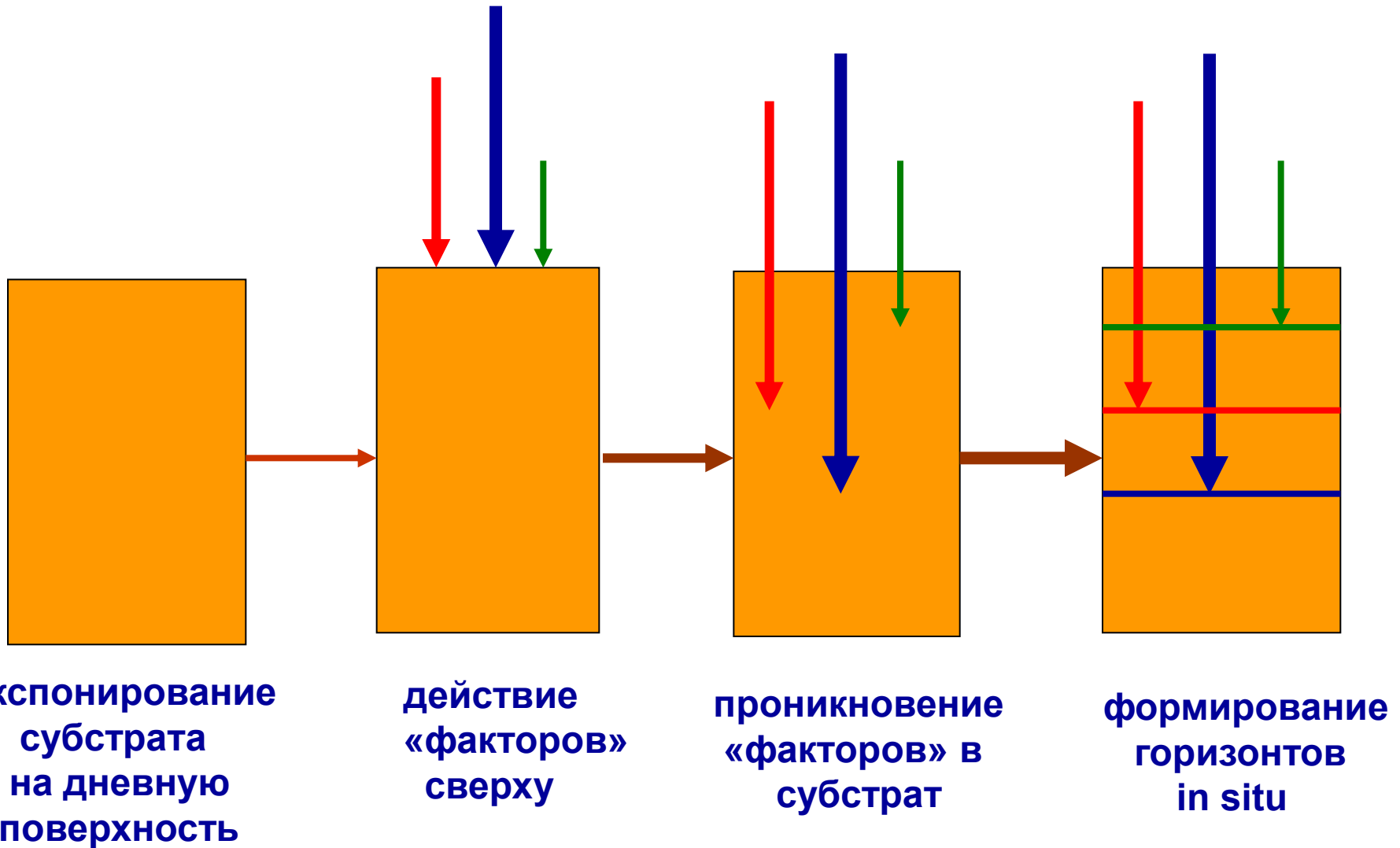
$$Exon = f (a_1, a_2, a_3, \dots) t$$

**Ситоны и трансситоны на планетах земной группы можно считать абиотичными почвоподобными телами (astrosoils, Amundson et al, где фактор биоты = 0**

**они формируются по тем же общим правилам, что и земные почвы и коры выветривания, но без участия биоты:**

**(трансформация и дифференциация материнской породы на горизонты, вглубь от дневной поверхности)**

# Генерализованный докучаевский факторно-профильный инситный подход может прилагаться не только к земным почвам



Его можно прилагать и к абиогенным инситным реголитам Земли и других планет

# **Мелкоземно-каменистые реголиты на Марсе, так называемые “Martian soils”:**

**Это почвы? или абиотичные экзогенные седименты?  
Дифференцирована ли их верхняя часть на инситные горизонты подобно горизонтам почв и кор выветривания Земли?**

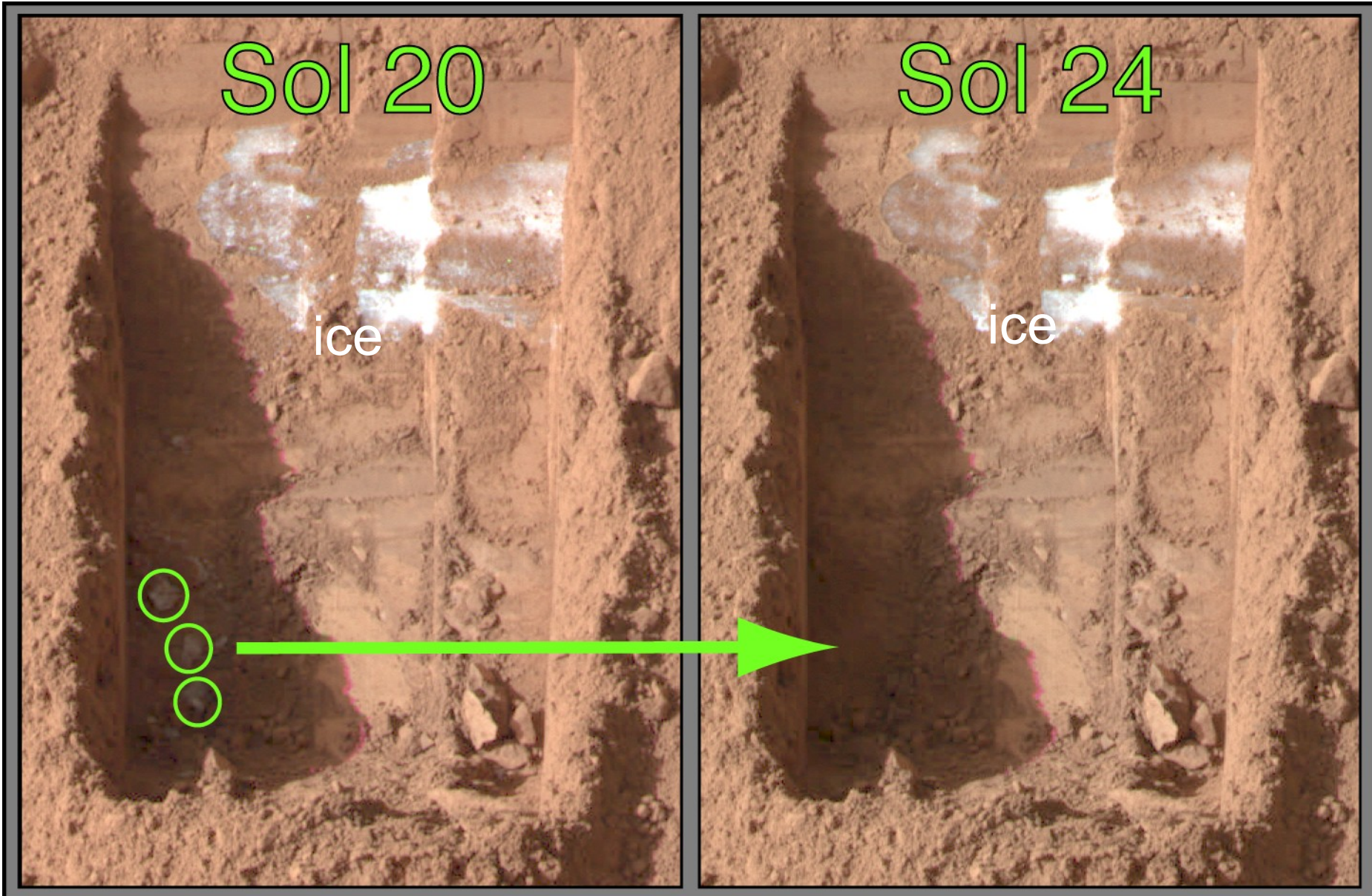
**Есть ли ситоны на поверхности Марса?  
Есть, но их немного.**





**Возможно, это инситные образования - микроситоны  
(корки выветривания) на поверхности обломков  
базальтов**





**Марсианский реголит – ситон, трансон или трансситон? Скорее последнее**



# **БИОКОСНЫЕ СИСТЕМЫ (БКС) И ОБОЛОЧКИ**

**Взаимодействие биоты с любой  
планетарной оболочкой  
формирует биокосные системы  
(БКС) и покровы  
на поверхности Земли и,  
возможно, где то еще???**

По характеру абиотичной среды, вмещающей биоту, можно выделять:

## **Бескаркасные - подвижные БКС:**

газообразные атмосферные;

водные гидросферные:

(фотический слой, пелагиаль и др.);

рассеянная и/или уходящая память систем

?

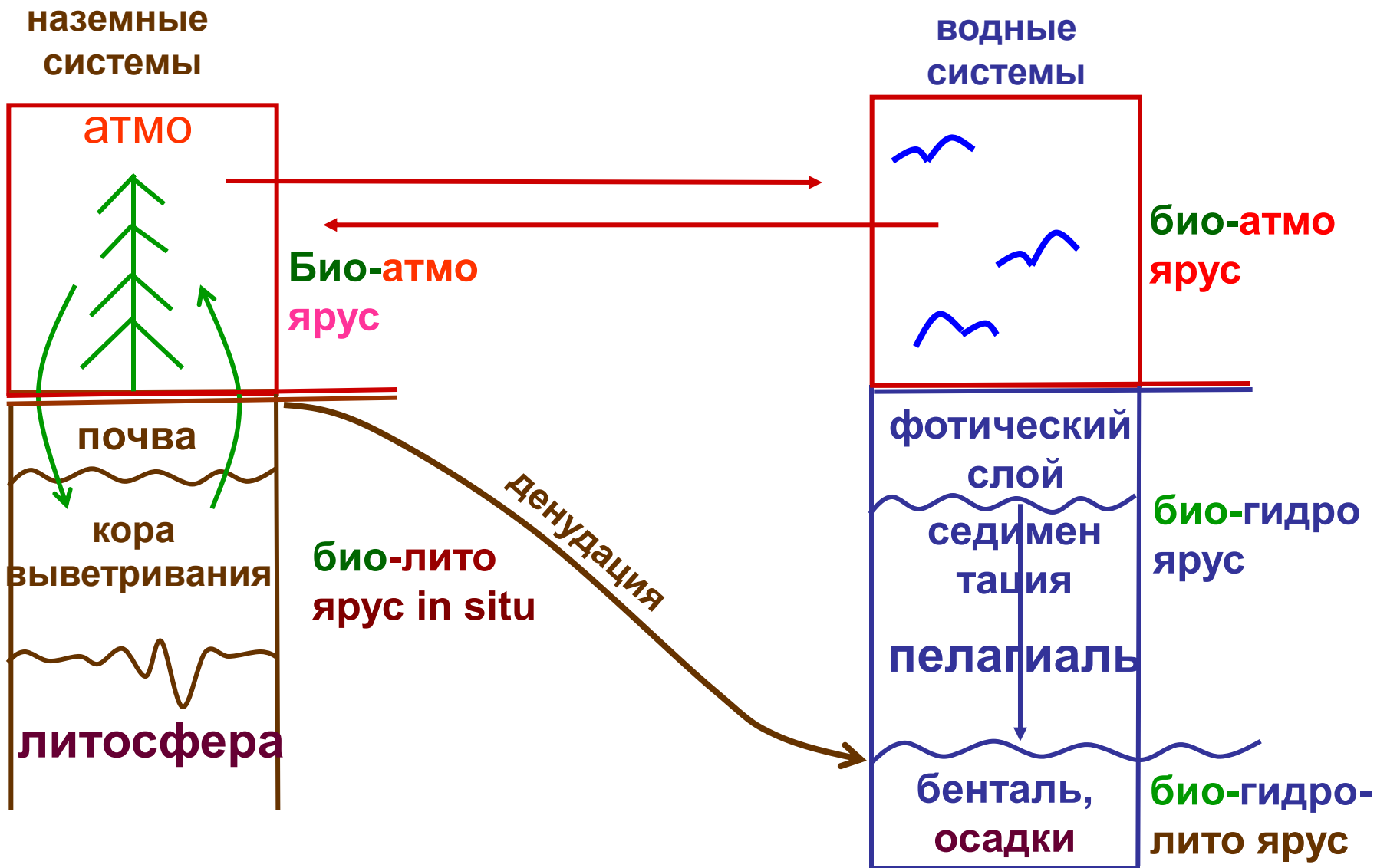
**Каркасные – не или мало подвижные (БКС):**

твёрдофазные литосферные:

(почва, кора выветривания);

неподвижная, инертная память систем

# Биокосные системы в основных вмещающих средах





**ВОДНЫЕ БКС:  
МОРСКИЕ И ПРЕСНЫЕ  
ВОДЫ - ПЛОДОРодНАЯ  
СРЕДА ДЛЯ АВТОТРОФНОЙ  
БИОТЫ**

**ПОДВОДНЫЕ ДОННЫЕ БКС  
(БЕНТАЛЬ) - ДОННЫЕ ОСАДКИ  
С АВТОТРОФНОЙ И/ИЛИ  
ГЕТЕРОТРОФНОЙ БИОТОЙ**



# Оболочки и системы взаимодействия:

## Экзогенные системы (ЭКС) экзоны

Ситоны – формируются в литосфере *in situ* из породы: почвы, коры выветривания

Трансоны – формируются латеральным переносом вещества вдоль поверхности: осадочные породы разного генезиса

Трансситоны – ситоны на трансонах: почвы и коры выветривания на осадочных породах

## Биокосные системы (БКС) нет общего термина

бескаркасные  
лабильные:

атмо БКС:  
приземный  
слой,

гидро БКС:  
фотический  
слой,  
пелагиаль,  
и др.

каркасные  
инерционные:

лито БКС:  
биогенные  
осадочные  
породы,

почвы,  
коры  
выветривания,  
бенталь



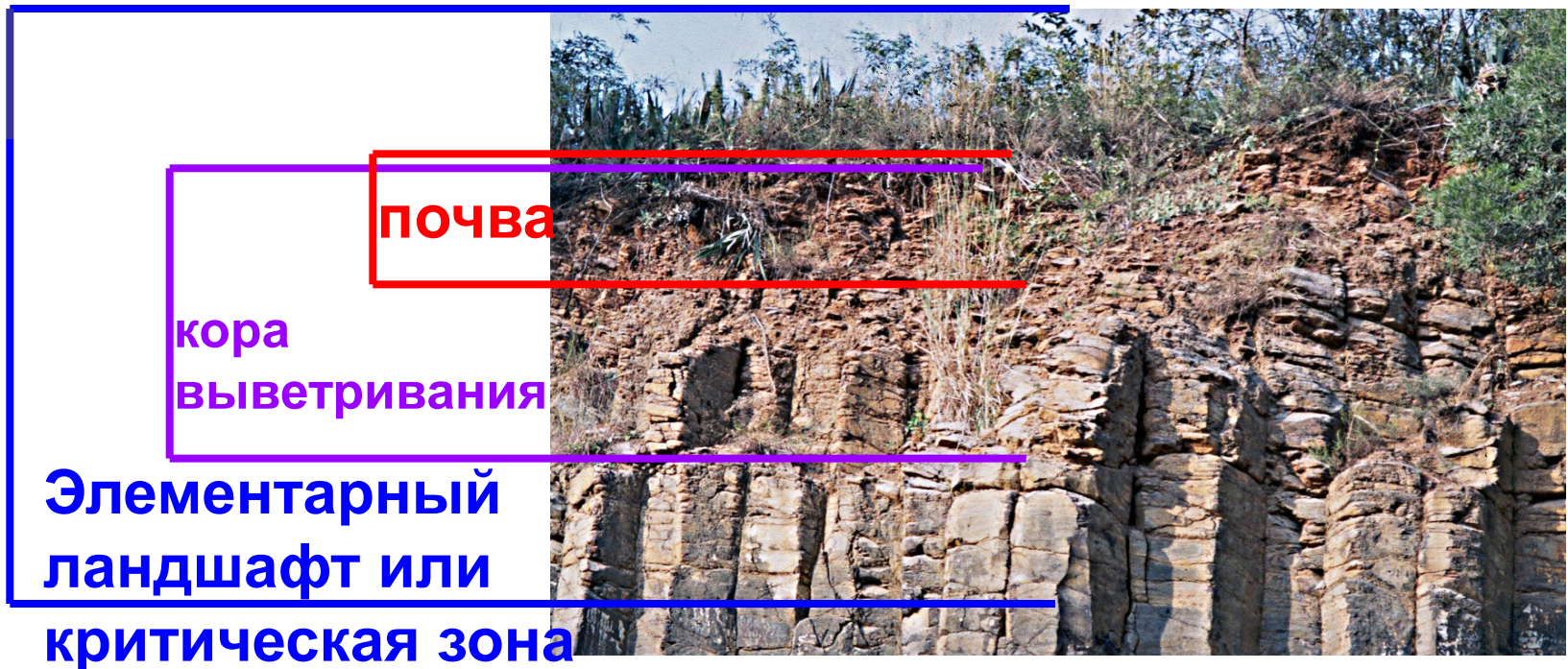
## **Соотношение понятий**

**почва  
и кора выветривания –  
биокошные инситные  
каркасные системы  
(ситоны) Земли**





**Почва и кора выветривания  
на базальтах, Ю-В Китай;  
экзогенная биокосная  
система, сформированная  
in situ (ситон)**





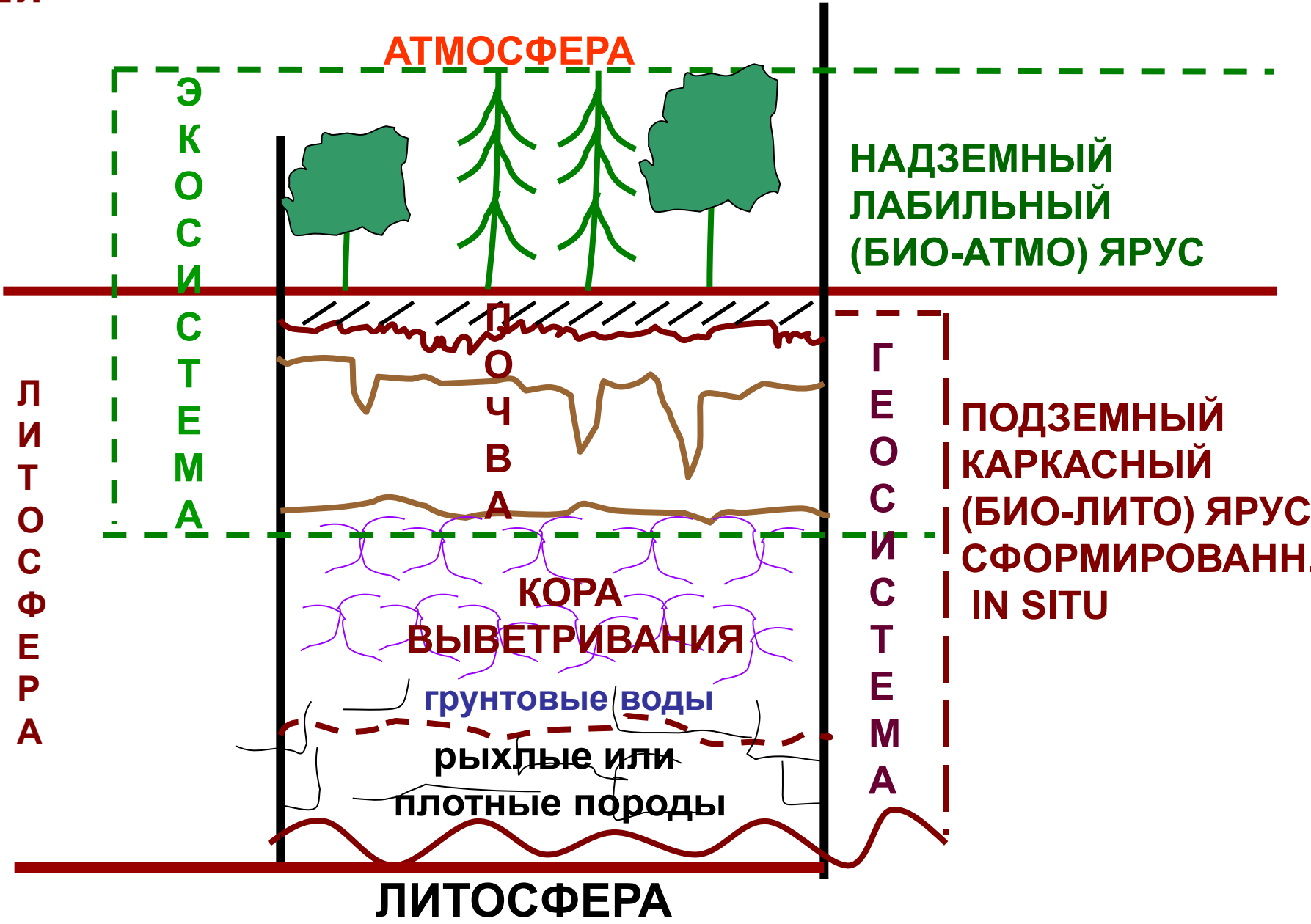


**почва**

**кора  
выветри  
вания  
базальта**



# Биокосные (биосферные) инситные системы суши



## ДОКУЧАЕВСКАЯ ПАРАДИГМА:

**ПОЧВА – САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ПРИРОДНОЕ ТЕЛО –  
РЕЗУЛЬТАТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ IN SITU:  
КЛИМАТА,  
ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ,  
МАТЕРИНСКИХ ПОРОД И РЕЛЬЕФА  
ВО ВРЕМЕНИ:**

$$S_{in\ situ} = f(c,l,o,r,p)t$$

**Главное – почва и результат и среда  
взаимодействия факторов in situ**



## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА:

БУРОЗЕМ, ПОДЗОЛ И ЧЕРНОЗЕМ: РАЗЛИЧНЫЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ  
И ПРОЦЕССЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ «ЗАПИСАНЫ» IN SITU  
В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ ТЕЛАХ СОГЛАСНО ФОРМУЛЕ:  
ФАКТОРЫ→ПРОЦЕССЫ→СВОЙСТВА

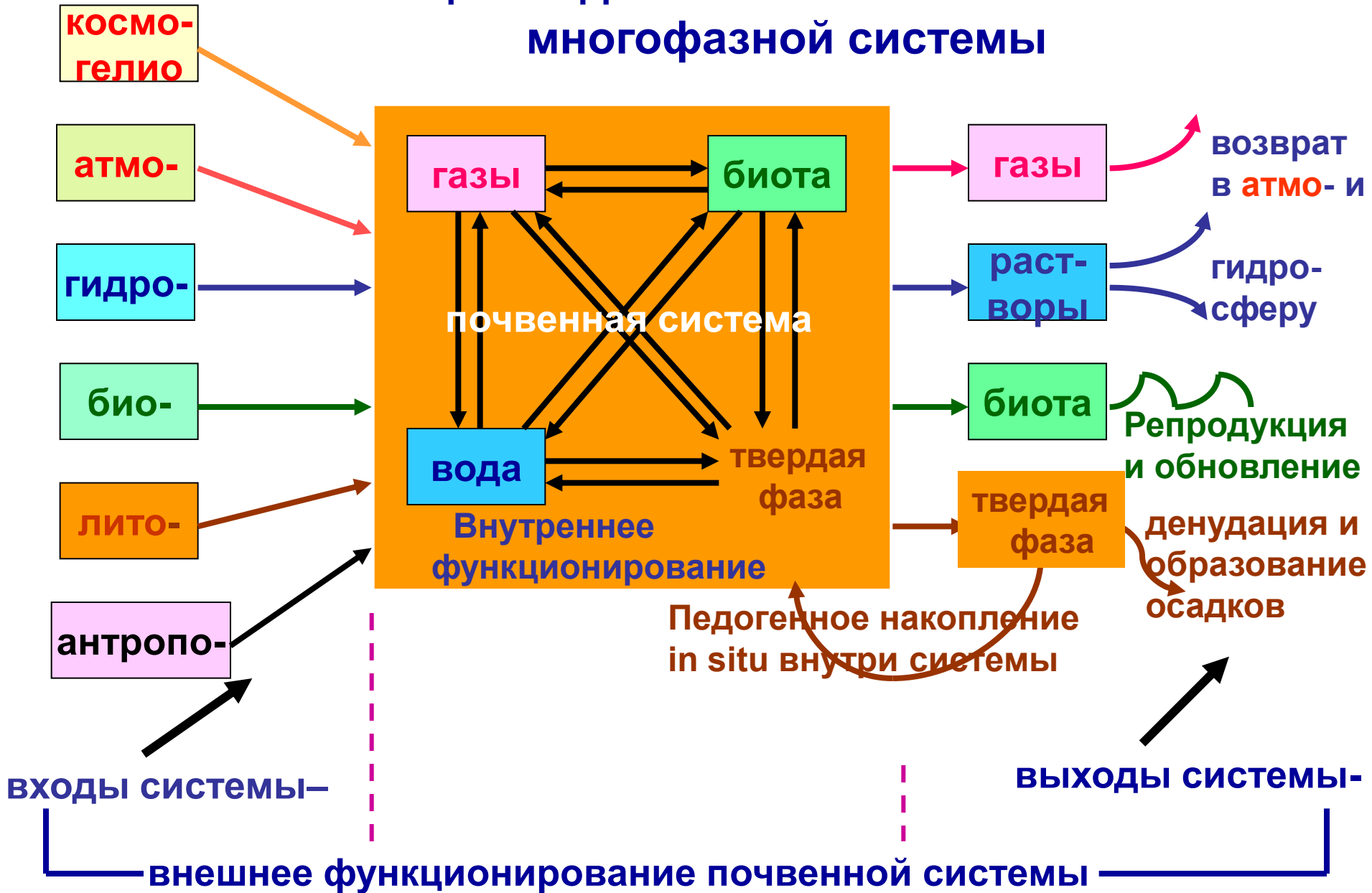


**ПАРАДИГМА В.И. ВЕРНАДСКОГО:  
«вышедшая» по словам В.И. из определения почвы  
В.В.Докучаева**

**Биокосные системы и тела –  
природные образования, в которых  
присутствует и репродуцируется живое вещество  
в тесном взаимодействии с неживой абиотичной  
средой;**

**Главное – процессы взаимодействия между  
любой биотой и любым абиотичным (косным)  
веществом, безотносительно к судьбе продуктов  
взаимодействия**

# Общая модель биокосной почвенной многофазной системы



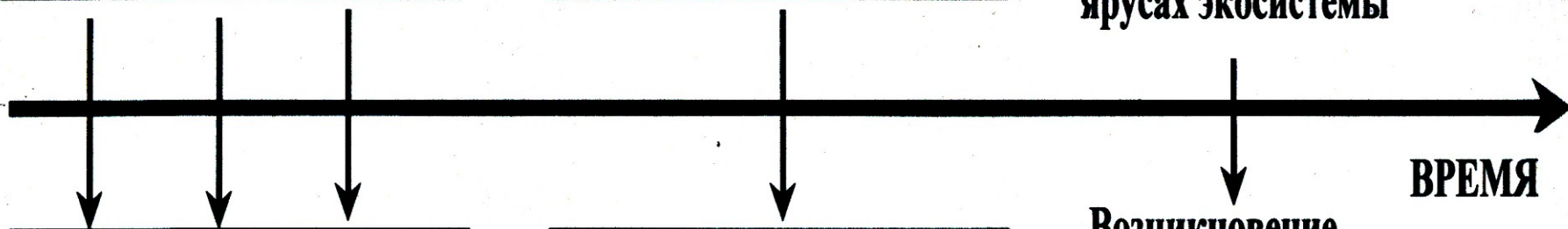


**Лабильные потоковые  
и циклические факторы-  
"агрессоры":  
гелио-атмо-гидро-био**

**=**

**Экзогенный почво- и  
корообразующий  
потенциал климата и  
биоты: ПКБ**

**Встреча и  
взаимодействие факторов  
и их потенциалов в  
надземном и подземном  
ярусах экосистемы**



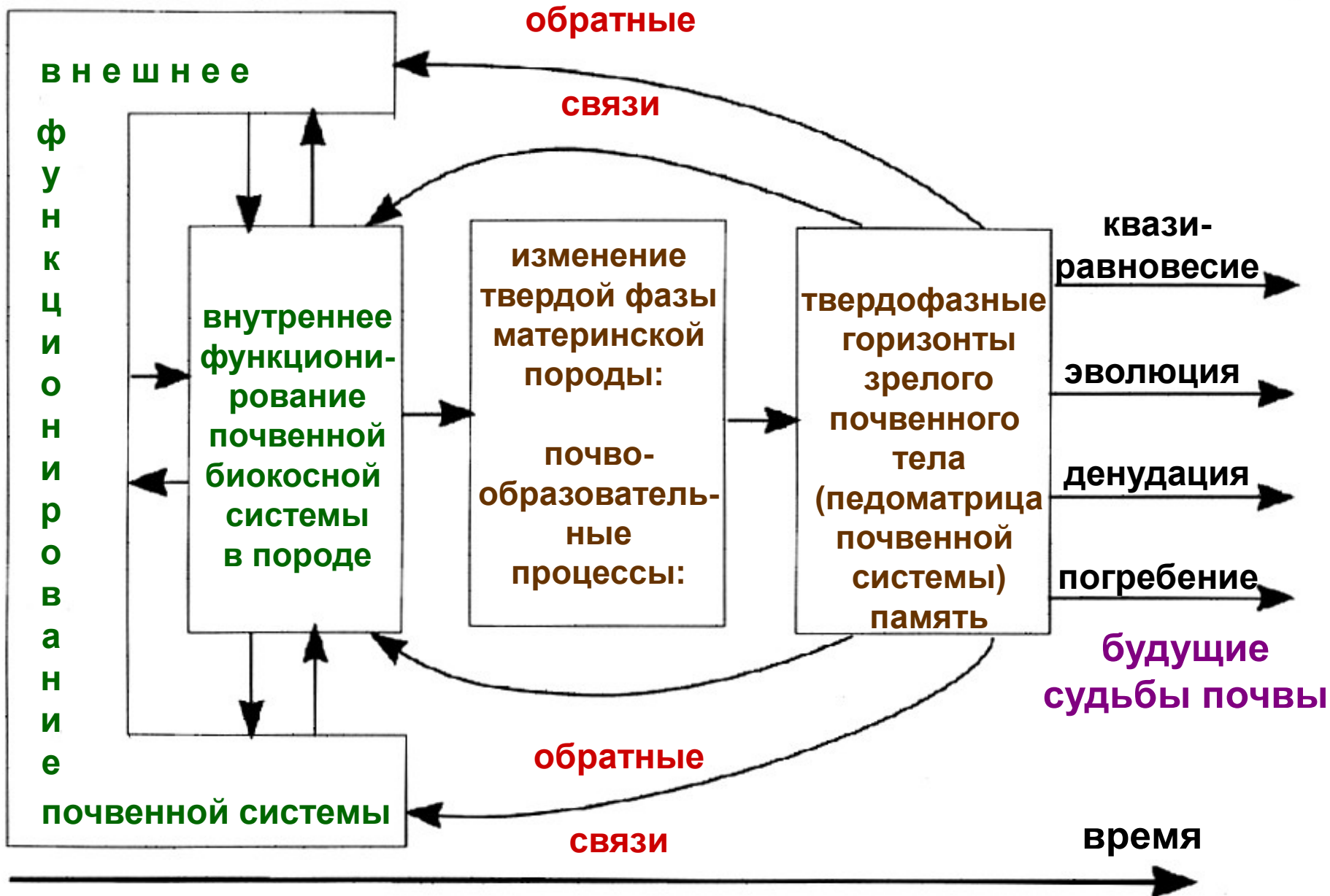
**Стабильные инерционные  
неподвижные  
факторы-"акцепторы":  
материнские породы,  
рельеф;  
лито-топоматрица  
системы**

**=**

**Трансформационный  
потенциал материнской  
породы  
ТПМ;  
перераспределительный  
потенциал рельефа  
ППР**

**Возникновение  
почвенной биокосной  
функционирующей  
системы в подземном  
ярусе:  
0-момент**





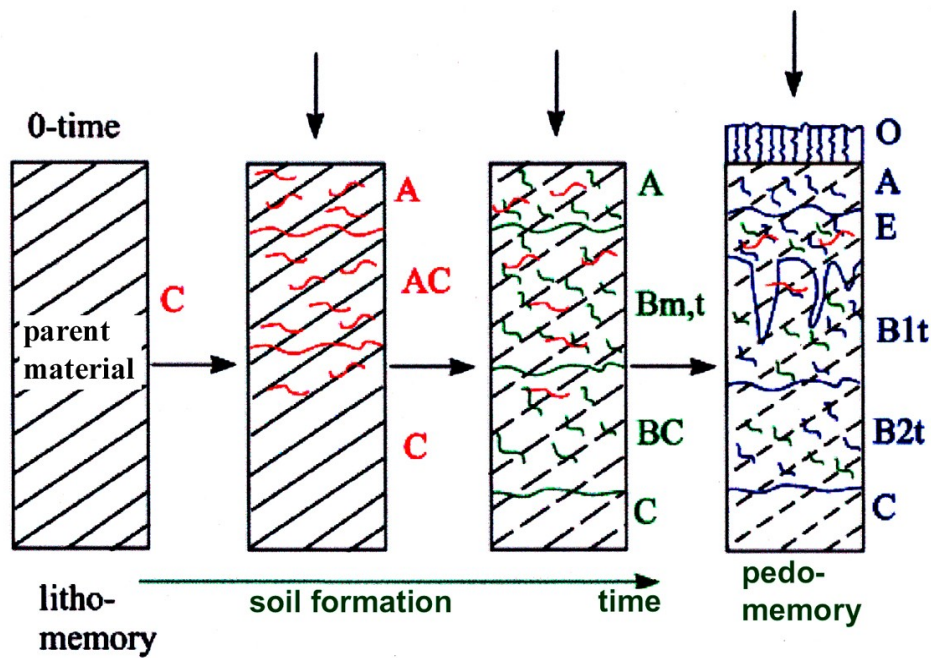
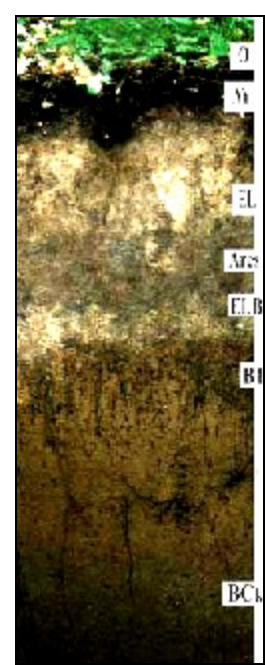
**Поведение почвенной системы во времени**

**Память почв – что это такое?**

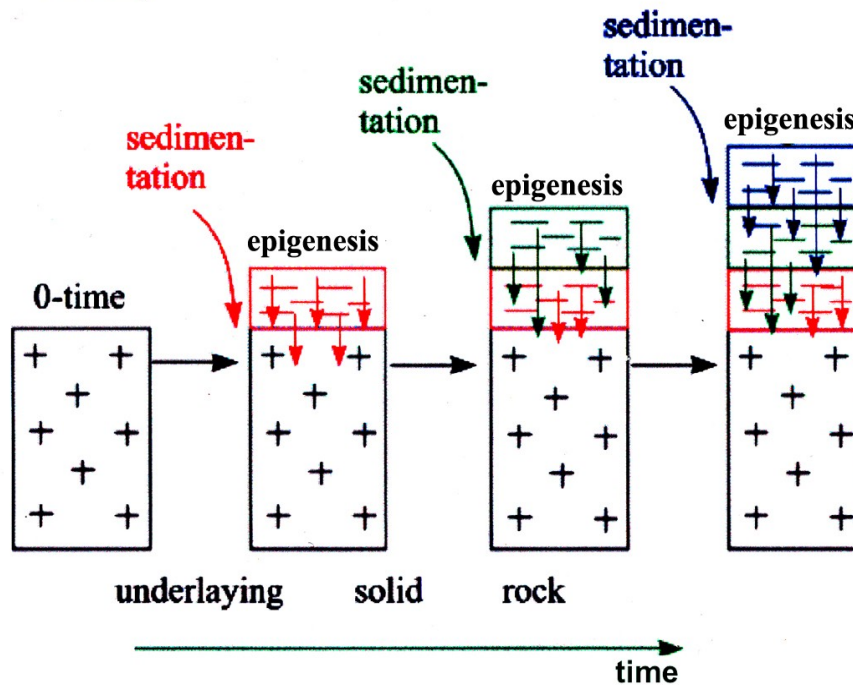
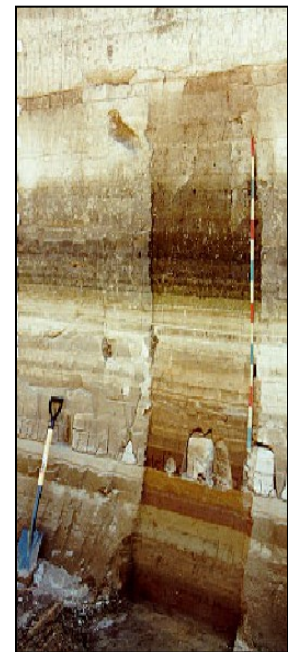
**память почв – это способность почвенных систем формировать и удерживать *in situ* устойчивые твердофазные признаки, в которых «записана» информация о почвообразовательных процессах и почвообразующих факторах**

**В литературе употребляются термины:  
память почв, почвенная память, почвенная запись.  
почвенный архив, почвенная книга**

**Память почвы – это вещественный состав и строение (архитектура) почвенного тела и почвенного покрова на всех уровнях организации: от наночастиц до горизонтов почвы, почвенного профиля, почвенного покрова.**



**Soil systems:**  
 palimpsest-wise memory  
 and record due to gradual  
 transformation of the  
 parent material at depth



**Sedimentary systems:**  
 book-wise memory  
 and record due to layer  
 by layer deposition  
 of the sediments

**Fig. 1**

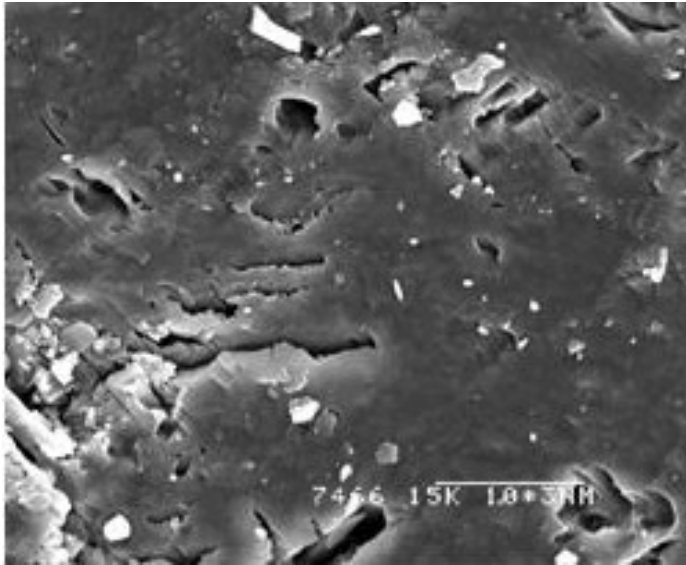




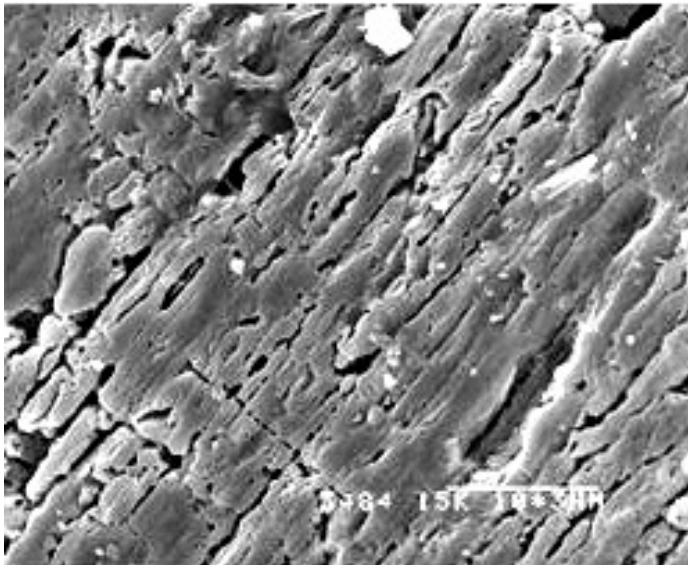
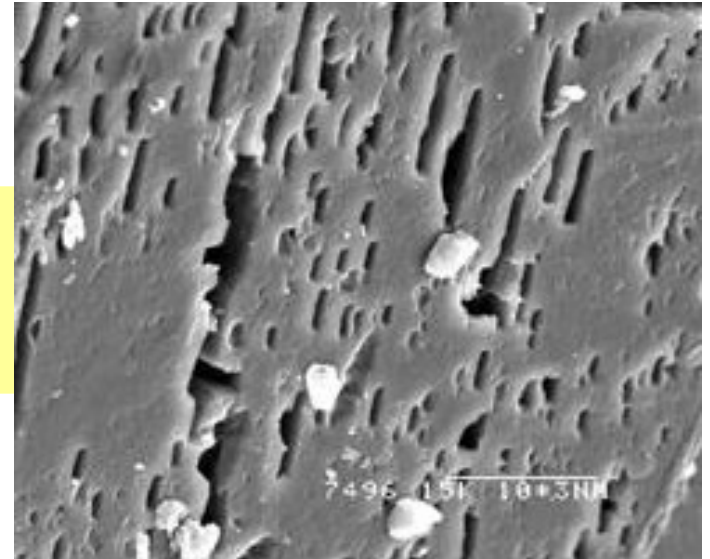
**Turbic Chernozem  
Molliglossic  
Buryatia,  
Чернозем  
криотурбированный**



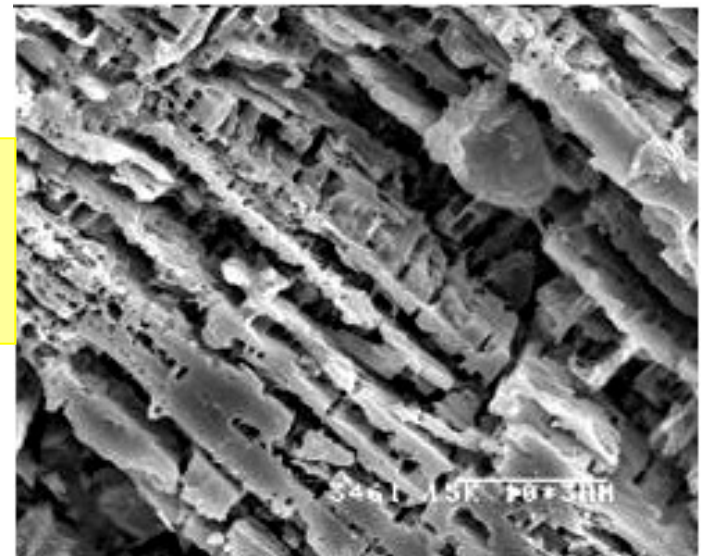
# *Feldspar weathering (scanning microscope)*



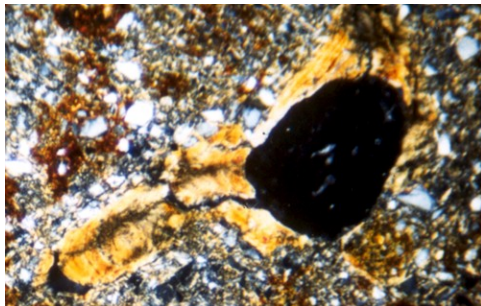
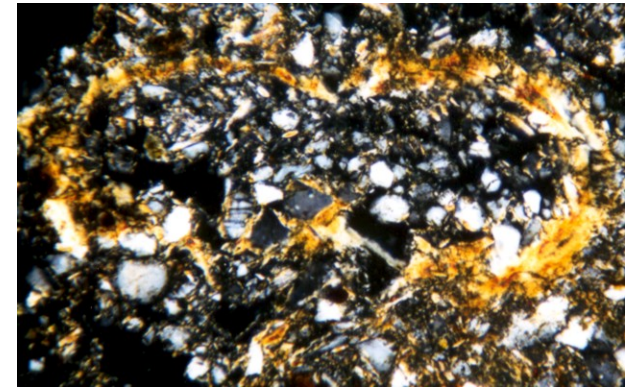
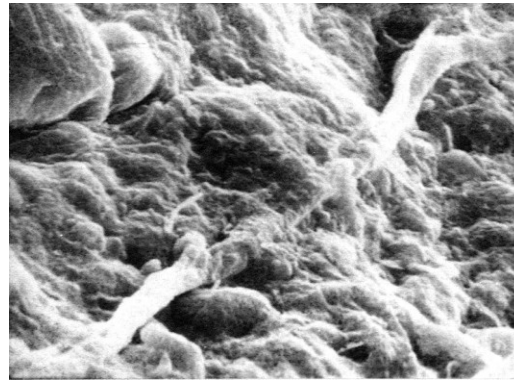
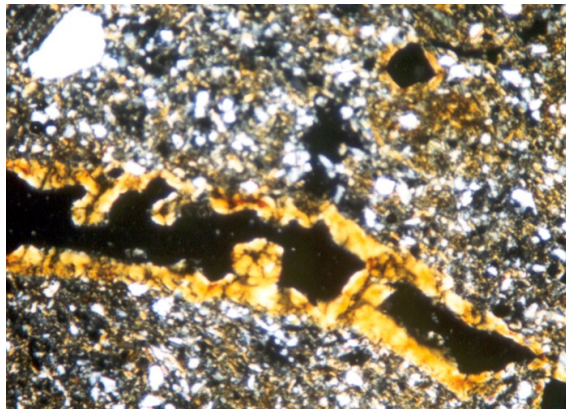
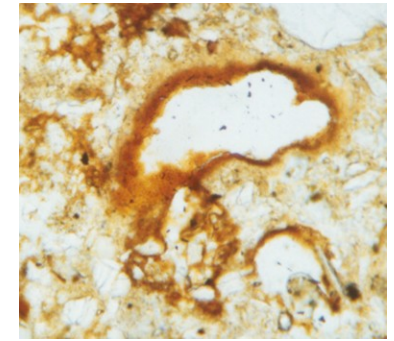
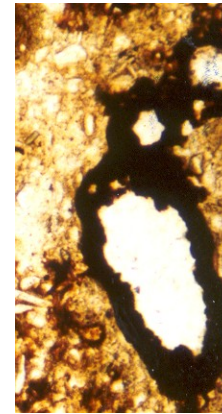
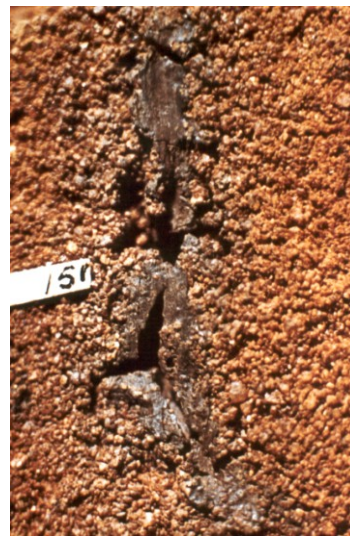
**initial  
stage**



**advanced  
stage**







**Could we decode illuvial cutans  
as a block of soil memory,  
membrane and interface in soil system?**



## Horizon EIBg



**Stagnic bleached tubes along the roots – records of poor drainage and humid env.**



## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА:

БУРОЗЕМ, ПОДЗОЛ И ЧЕРНОЗЕМ: РАЗЛИЧНЫЕ ФАКТОРЫ СРЕДЫ И ПРОЦЕССЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ «ЗАПИСАНЫ» В РАЗЛИЧНЫХ ПОЧВЕННЫХ ТЕЛАХ СОГЛАСНО ФОРМУЛЕ:  
ФАКТОРЫ→ПРОЦЕССЫ→СВОЙСТВА



# Антропогенно-сконструированные педоседименты

**«садовая земля»,  
насыпанная на осадочную  
породу**



**«парковая земля»  
на строительном материале**



**Память почв –  
запоминание геобиосферной  
среды и процессов «в точке», на  
месте, что позволяет «читать»  
любую территорию как мозаику  
различных инситуальных  
взаимодействий в природе и  
обществе**



**Есть ли цели в развитии БКС во времени?**

**На примере почвы – нет;  
Есть самоорганизация и саморазвитие БКС, стремящихся к аттрактору**

# Почвообразование – мифы и реальность

Гипотеза Гейа (Lovelock, 1989, 1991): биота не столько приспосабливается к среде, сколько трансформирует и регулирует ее; «цель» биоты – улучшение среды «в свою пользу» в рамках всей биосферы;

Почвообразование – преобразование биотой материнских пород в почву, сопровождающееся повышением плодородия и экологической «комфортности» среды обитания

(Вильямс, 1930, 1945; Пономарева, 1975; Van Breeman, 1990).

Плодородие – главное специфическое свойство почв (широко распространенное мнение).

**Так ли это? НЕТ**



**Диагностические горизонты и свойства  
почвенных тел осознаются как экологически  
значимые аттракторы саморазвития  
почвенных систем:**

**«хорошие» аттракторы – такие состояния  
почвенных тел (горизонты, свойства), при достижении  
которых среда обитания становится более  
благоприятной для биоты, чем в предыдущих  
состояниях  
(биопродуктивность, биоразнообразии, репродукция)**

**«плохие» аттракторы – такие состояния почвенных  
тел (горизонты, свойства), при достижении которых  
среда обитания становится менее благоприятной для  
биоты, чем в предыдущих состояниях  
(биопродуктивность, биоразнообразии, репродукция).**

**«Хорошие» аттракторы – диагностические почвенные горизонты, экологически благоприятные для биоты (12 из 39, 31%):**

**Гумус-аккумулятивные горизонты:**

- 1. Mollic**
- 2. Umbric**
- 3. Chernic**
- 4. Melanic**
- 5. Fulvic**

**Минеральные горизонты, в т. ч. метаморфические**

- 6. Andic**
- 7. Cambic**
- 8. Nitic**

**иллювиальные**

- 9. Calcic**
- 10. Argic**

**педоседиментационные.**

- 11. Vitric,**
- 12. fluvic**

**«Плохие» аттракторы – диагностические горизонты  
и свойства, экологически неблагоприятные для  
биоты (27 из 39, 69 %):**

**Климатически  
экстремальные**

1. Cryic
2. Premafrost
3. Aridic
4. Yermic
5. Takyric

**Засоленные**

6. Salic
7. Gypsic
8. Natric
9. Sulfuric

**Оглееные**

10. Stagnic prop.
11. Gleyic prop.

**Цементированные**

12. Petroduric
13. Petrocalcic
14. Petrogypsic
15. Petroplintic
16. Duric
17. Plintic
18. Fragic

**Слитые**

19. Vertic

**Сильно выветрелые**

20. Ferralic
21. Geric prop.

**Элювиально-  
иллювиальные**

22. Albic
23. Alic
24. Spodic

**Торфяные**

25. Histic
26. Folic

**« Бедные »**

27. Ochric

## **Из 39 диагностических горизонтов и свойств мировой классификации почв (WRB):**

**лишь 12 (31%) оцениваются как благоприятные для биоты,  
«хорошие» аттракторы;**

**они формируются, когда биотические и биокосные потоки и циклы  
сравнимы или превосходят по мощности и емкости абиотические  
потоки и циклы;**

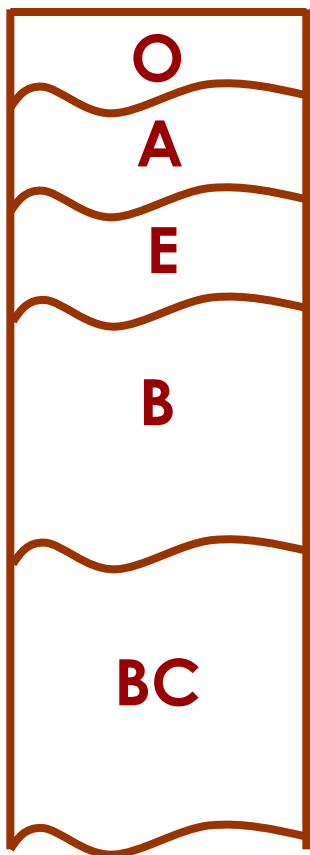
**в этих случаях биота не адаптируется к среде обитания,  
а трансформирует и улучшает ее.**

**27 - (69%) оцениваются как, неблагоприятные для биоты  
«плохие» аттракторы;**

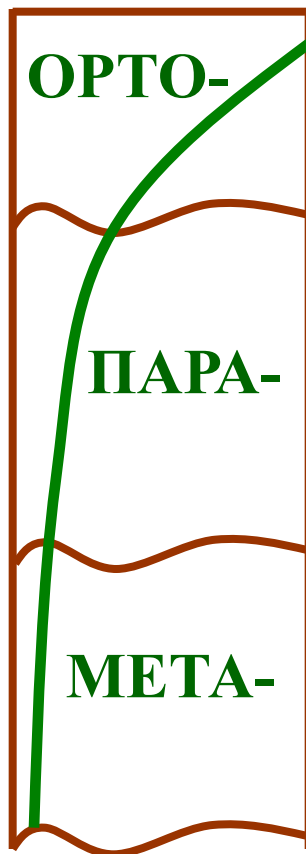
**они формируются, когда абиотические потоки и циклы  
превосходят по мощности и емкости биотические и биокосные  
потоки и циклы;**

**в этих случаях биота не столько трансформирует и улучшает среду  
обитания, сколько адаптируется к ней.**

# МОДАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОТЫ И ГОРИЗОНТОВ – АТТРАКТОРОВ В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ



**ТВЕРДОФАЗНЫЙ  
ПРОФИЛЬ**



**БИОТИЧЕСКИЕ  
ЗОНЫ**

**«ХОРОШИЕ»  
АТТРАКТОРЫ**

**«ПЛОХИЕ»  
АТТРАКТОРЫ**



**Формирование биокосных систем, в т.ч. почвообразование, это сложные глобальные процессы взаимодействия циклов и потоков вещества и энергии в биосфере.**

**Эти процессы имеют разные, часто противоположные направления, разные скорости и мощности; между ними идет «борьба за результат».**

**Почва – и равнодействующий и синергетический результат от взаимодействия многих разнонаправленных процессов.**

**Почвообразование - не целенаправленный процесс, поэтому он может приводить как к позитивным, так и к негативным результатам для биоты.**

**Такое понимание почвообразования позволяет трезво оценивать роль почвы в биосфере и избежать преувеличенной «биосферной эйфории»**

**(целеполагание биосферы, «цель» в развитии почвы и т.д.).**

**Плодородием обладает не только почва, но также и все биокосные системы, включая водные и воздушные, и биосфера в целом; в этом смысле плодородие не может считаться отличительным свойством почвы.**

**Однако среди биокосных систем почва обладает **специфическим плодородием** – это длительно накапливающееся в твердой фазе, «инсидентное», долго живущее и инерционное плодородие, резко отличающееся от лабильного, коротко живущего плодородия воздушной и водной среды обитания биоты**



**Спасибо за внимание!**