

# Общая экология

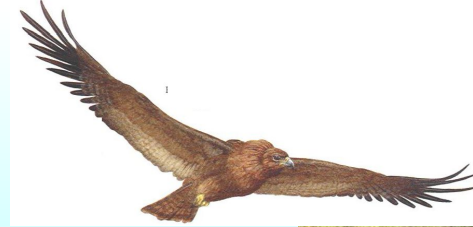
## Тема 10-4

### Основные биомы суши и их характеристика (зональные травянистые экосистемы)

#### ВОПРОСЫ К СЕМИНАРУ:

1. Характеристика отдельных биомов (распространение, климат, рельеф, почвы, растительный и животный мир, биоразнообразие и продуктивность, трофические отношения, закономерности биокруговорота, устойчивость, экологические проблемы...):
  - 1.1. Степи, прерии, пампа;
  - 1.2. Пустыни, полупустыни.
  
2. Распределенные модели динамики органического вещества почв (настройка параметров по аналитическим стационарным решениям).

# Степи, прерии, пампа



Распространены во внутриконтинентальных регионах Евразии (степи), Северной (прерии) и Южной (пампасы) Америки за пределами 30° параллели в субтропическом и умеренном климатических поясах с **контрастными условиями** – суровой снежной зимой (кроме пампы) и жарким засушливым летом при среднегодовой норме осадков порядка **250-400мм** и более. Доминирует травянистая **злаковая** растительность (ковыль, типчак, овсяница, тонконог, костер, житняк, бородачи), степное разнотравье (шалфей, тимьян, полынь...), иногда **кустарники** (спирея, карагана, степная вишня, можжевельник). Продуктивность и биоразнообразие достаточно высокие, но сдерживаются периодически неблагоприятными факторами – засухой в летнее время и холодными температурами зимой, в результате чего в жизни степных сообществ возникают периодические **биопаузы**. Общая фитомасса варьирует от **100 до 300 ц/га** при значительной 15-30% доли ассимилирующих органов и **очень высокой (до 70-80% и более)** доли корней. Степь – «лес вверх ногами». Основное количество органического вещества и биофильных элементов аккумулируется **в почвах**, отличающихся наивысшим уровнем плодородия (**черноземы, каштановые почвы степей..**). Поэтому в настоящее время подавляющее большинство степей распахано и отведено под выращивание хлебных злаков.

## Степи, прерии, пампа

Прирост (чистая первичная продуктивность) несколько меньше чем в саваннах **40-150 ц/га год**. Близки к этим величинам и запасы подстилки (**30-150 ц/га**), что указывает сбалансированный круговорот органики на поверхности почвы с удельной скоростью деструкции мортмассы ( **$k \sim 1 \text{ год}^{-1}$** ). При этом значительная доля **корней в опаде (50-60% и более)** способствует усиленной гумификации in situ и формированию мощных гумусовых горизонтов (1м и более), согласно растительно-наземной теории происхождения черноземных почв (Ломоносов, Докучаев). Проникновение **корней глубоко в почву (1-2 м)** в поисках зимних запасов влаги, наряду с роющей деятельностью многочисленных почвенных животных способствовало глубокой биогенной трансформации материнской породы в процессе почвообразования. В черноземных почвах аккумулируется до **7000-8000 ц/га** и более **органического углерода** в виде гумусовых веществ (сравнить с фитомассой влажных тропических лесов (3000-5000 до 17000 ц/га ). Подобное «богатство» делает степные экосистемы **весьма устойчивыми** (в отличие от гилей) и продуктивными. Поэтому настоящее время подавляющее большинство степей и прерий распаханы и используются в сельском хозяйстве как основные ресурсы производства зерновых.

В прошлом естественные степи занимали большие площади в Евразии и Америке. В них водились стада крупных и средних **животных-фитофагов** (бизоны, степные зубры, туры, тарпаны и мустанги, сайгаки, джейраны, гуанако, пампасный олень), которые наряду с **обильными грызунами** (зайцы, сурки-байбаки, суслики, хомяки, луговые собачки, вискаша, цокор, слепушонка, гоферы, туко-туко..), разнообразными **птицами** (дрофа, стрепет, нанду, шалфейный тетерев, тинаму, перепела, куропатки..), **насекомыми** (саранча, кузнечики, муравьи-семеноеды...), **дождевыми червями**, почвенными животными-детритофагами активно потребляли наземную и подземную фитомассу, детрит, семена и корневища растений, удобряя и разрыхляя почву. Их численность контролировалась **хищными животными и птицами** крупных и средних размеров, приспособленных к **быстрому перемещению на больших открытых пространствах** (серый волк, койот, лисица, гривистый волк, манул, большой муравьед, хорь, горностаи, колонок, беркут, степной орел, каракара, луни, курганник, пустельга..) наряду с пресмыкающимися (гремучие змеи, гадюки) и насекомыми (хищные муравьи, богомолы, жужелицы, земляные осы...). Контрастный климатический режим выработал у животного мира степей адаптивные реакции в виде миграций (крупные копытные, птицы), сезонного анабиоза (зимней спячки грызунов и пресмыкающихся), укрытия в глубоких норах (грызуны, насекомые, почвенные беспозвоночные).

Круговорот веществ в степных экосистемах достаточно интенсивный, при этом депонирующая функция из фитомассы перешла в основном в почву. Запас биофильных элементов в фитомассе близок к таковому в саваннах (до **1000-1200 кг/га** в **высокотравных** степях и прериях и **350-600 кг/га** в **низкотравных** сухих степях), тогда как только в **метровой** толще чернозема сосредотачивается в **ППК 5000-10000 кг/га** катионов биофильных элементов. В фитомассе основная доля биофильных элементов локализуется в **корнях (70-80% и более)**. Среди элементов доминируют кремний, азот (100-300 кг/га ), кальций, натрий, сера, хлор (при засолении). **Экологические проблемы** – антропогенная деградация почв при распашке (отрицательный гумусовый баланс, ветровая и водная эрозия, (пыльные бури, байраки, техногенное загрязнение, слитизация, потеря структуры, поглотительной и водоудерживающей способности)), засухи, деградация степных рек, уничтожение коренной флоры (ковыльные степи) и фауны (бизоны, тарпаны, мустанги, сайгаки, дрофа, крупные хищные птицы). Проблема восстановления плодородия черноземов в свете концепций их генезиса (вред теорий «осадочного происхождения» и «стабильного гумуса»). Пастбища (пампа) лучше пашни для почв (**20г/м<sup>2</sup>/год** гумусовых веществ в заповедной степи и пастбище и лишь 7-8 на пашне). Будущее – в сочетании и чередовании животноводства, полеводства и заповедных режимов. **Тип круговорота: Азотно-кремниевый степной, среднесольный, среднепродуктивный, интенсивный (Si > N (Ca, Na, S, Cl)).**

**Модель динамики органофиля чернозема по классической концепции Докучаева (Смагин, 2001)**

Объемная концентрация

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - q \frac{\partial C}{\partial z} - kC + R \exp(-bz)$$

Диффузия (дисперсия)

Конвекция

Корневой опад

Биодеструкция

$$-D \frac{\partial C}{\partial z} + qC \Big|_{z=0} = L$$

Растительный опад на поверхности

$$C(z) = \left[ \frac{2L}{\left(\sqrt{q^2 + 4kD} + q\right)} - \frac{2R(bD + q)}{\left(k - Db^2 - bq\right)\left(\sqrt{q^2 + 4kD} + q\right)} \right] \times \exp\left[-\left(\frac{\sqrt{q^2 + 4kD} - q}{2D}\right)z\right] + \frac{R}{k - Db^2 - bq} \exp(-bz) + C_0$$

$$C(z) = A \exp(-mz) + B \exp(-bz) + C_0$$

Аппроксимационная модель для стационарного органофиля

$$D = \frac{L(m - b) - (R/B)(A + B)}{(A + B)(b^2 - m^2) + (m - b)(am + Bb)}$$

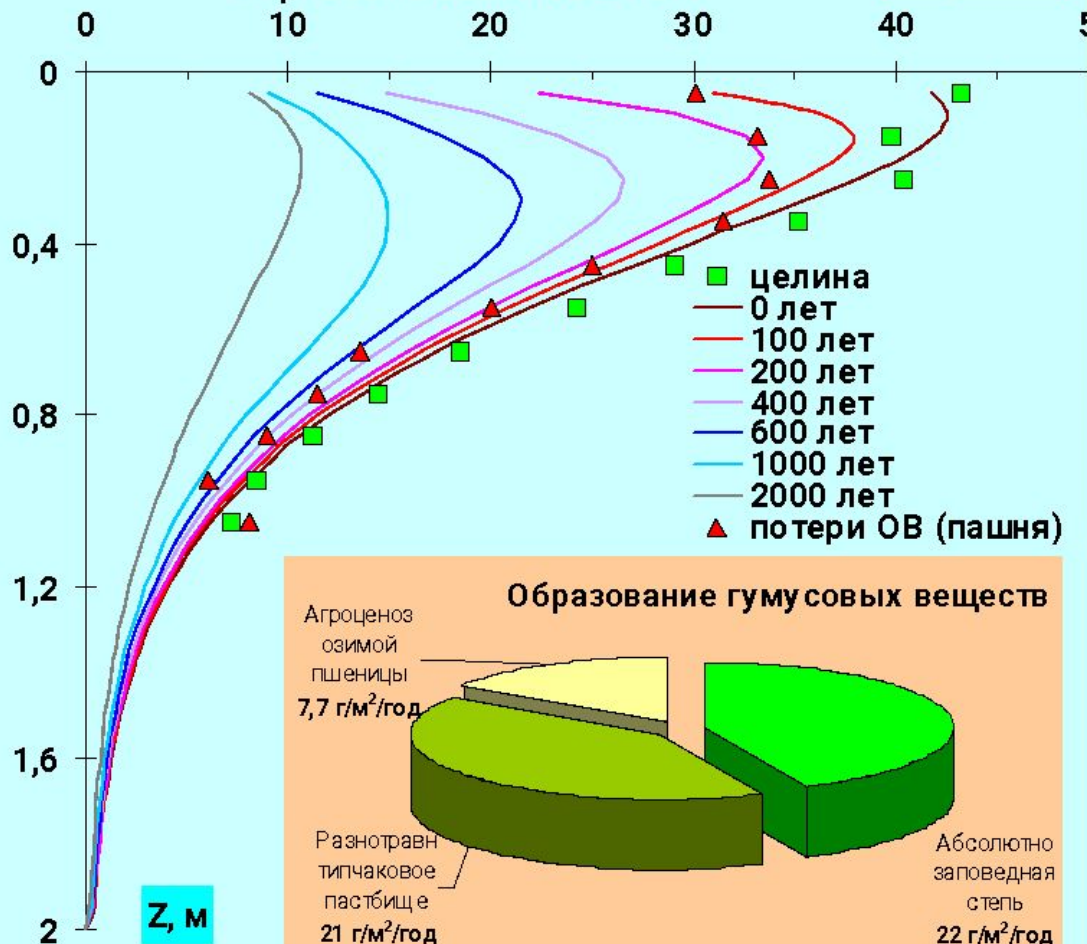
Аналитическое решение стационарного варианта

$$q = \frac{L - D(Am + Bb)}{(A + B)}, \quad k = (R/B) + Db^2 + bq$$

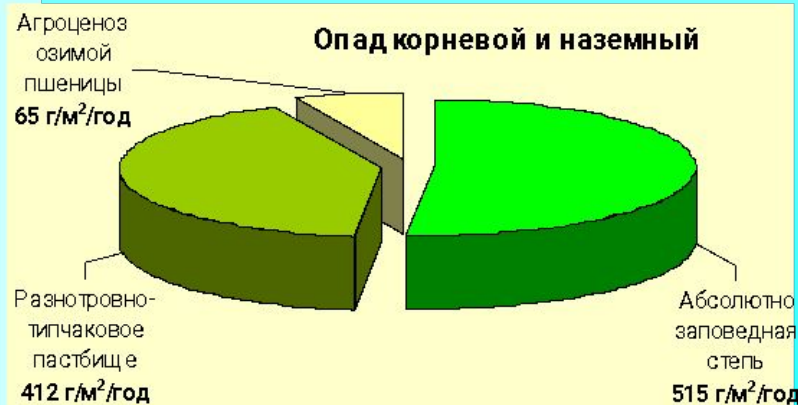
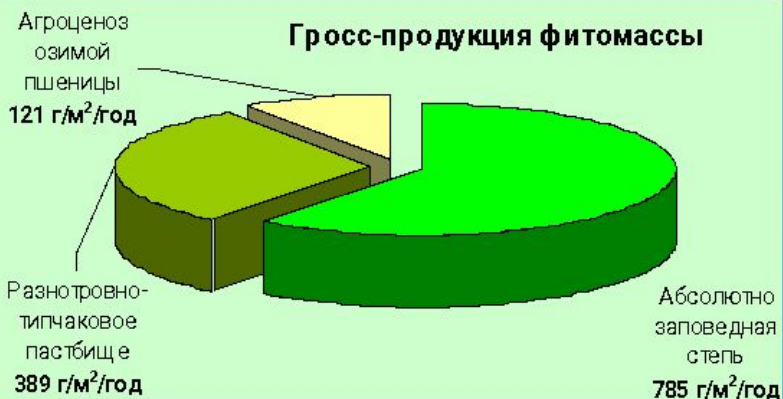
Расчет параметров модели по стационарному органофилю (обратная задача)

# Моделирование динамики органического углерода почв при их с/х освоении (Смагин, 2001)

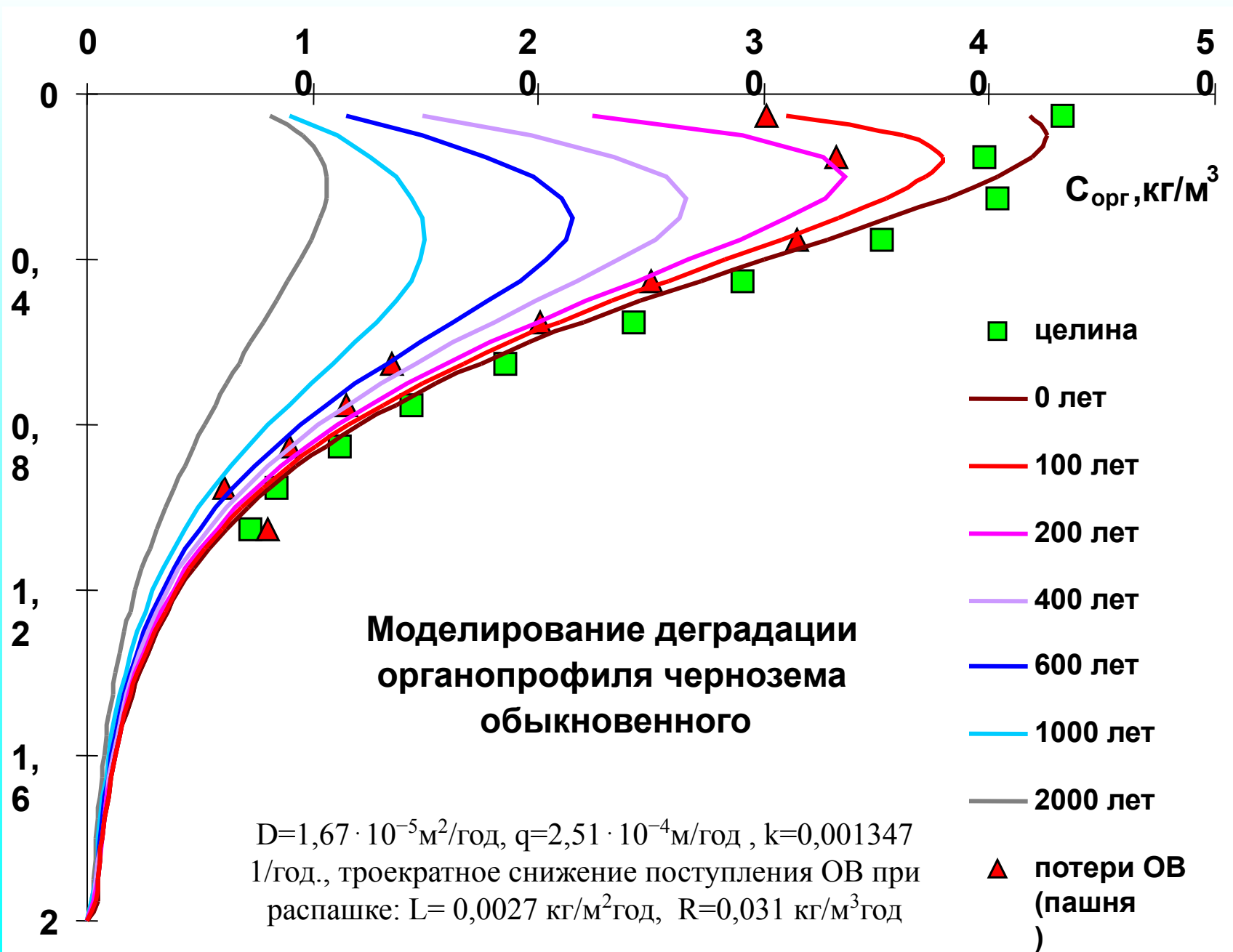
Моделирование деградации органо профиля  
чернозема обыкновенного



## Количественная оценка параметров круговорота углерода в природных и антропогенных травяных экосистемах на черноземах



Из-за отчуждения с/х продукции и отсутствия органических удобрений при современном агропроизводстве снижение поступления гумусовых веществ в почву в **3 раза и более**



# Пустыни, полупустыни



Распространены в **тропическом, субтропическом и умеренном поясах**, где испарение резко преобладает над осадками. Наибольшие территории – в тропиках с сухим материковым тропическим климатом (повышенное давление, нисходящие потоки сухого воздуха без препятствий в виде высоких горных цепей с точкой росы). В Африке – крупнейшая пустыня Сахара (9 млн км<sup>2</sup>, почти территория США), пустыня Калахари, в Евразии – Аравийский полуостров, Белуджистан (Иран, Пакистан), в Америке – Мексиканские пустыни, пустыни Мохава и Соноран, Долина Смерти, север Чили (пустыня Акатама), в Австралии (Большая песчаная пустыня, Пустыня Гибсона,). Азиатские, Американские и Австралийские пустыни субтропического и умеренного континентального сухого климата и сурового климата высокогорий (Иранское нагорье, Туркмения, Узбекистан (Каракумы, Кызылкумы), Раджастан (Индия), равнинный Афганистан, Таримская впадина (Китай), пустыня Гоби, Большой бассейн (США), пустыня Виктория (Австралия). Климатические условия чрезвычайно контрастны (**до 30-40°C** суточные перепады температур, до 100°C – годовые: в субтропических высокогорных пустынях (Памир, Тибет) очень холодные зимы (**до -50°C**), экстремально высокие температуры летом в дневные часы до 50°C в субтропиках (Туркмения) и 57-60°C в тропиках (Сахара, Долина Смерти (США), Австралия). На фоне экстремальной жары – дефицит осадков (менее **100-250мм/год**), а в иных районах – лишь раз в несколько лет разовые ливни. Климатические условия диктуют сильное **угнетение биопродуктивности и видового разнообразия**. Вместе с тем при наличии воды (орошение, долины крупных рек) возникают всплески биопродуктивности, характерные для влажных тропиков (например, **тугаи**). Среди растительности доминируют **травянистые и низкорослые кустарничковые формы** (полыни, пустынные злаки и осочки, креозотовый кустарник, верблюжья колючка (бобовые)), **эфемеры и эфемероиды** (луковичные тюльпаны, мятлик, крокусы, маки), **эпифиты** (мхи, водоросли, лишайники), **суккуленты** (кактусы, агавы, опунции), **галофиты** (солянки), древовидные формы ксерофитов и суккулентов (черный и белый саксаул, акации (пустынный тираннозавр), финиковая пальма, вашингтония, гигантский цереус), паразиты (заразиха). Общая фитомасса **10-100 ц/га** (до 500 ц/га в сухих саксаульниках и более **1000 ц/га** в травянистых тугаях Средней Азии ) при относительно небольшой 3-10% доли ассимилирующих органов и доминирующей (**60-90%**) доли **корней**. Почвы от примитивных песчаных (**эрги**), каменистых (**реги, хамады**) и глинистых (**такыры**) пустынных, лишенных органического вещества, часто засоленных с избытком карбонатных включений до достаточно плодородных сероземов и серо-бурых с аккумулятивными горизонтами и 1-3% гумуса.

## Пустыни, полупустыни

Прирост (чистая первичная продуктивность) всего **5-30 ц/га** год и лишь в эфемерово- кустарничковых пустынях и саксаульниках доходит до уровня сухих степей (**80-100 ц/га**). При этом подстилка практически отсутствует и весь опад и отпад полностью минерализуется в течение года ( $k > 10 \text{ год}^{-1}$  как в **тропических и экваториальных лесных биомах**): Частые биопаузы в экстремальные сезоны, укрытие в почве (песке) животных и зачатков растений, **адаптации к недостатку влаги** (жировые запасы (в горбах верблюдов, в хвосте у тушканчиков, ящериц- шипохвоста, ядозубы), улавливание росы, паров воды поверхностью (кожа, листва, волосяные покровы), транспорт воды на перьях (белобрюхий рябок), охлаждение через гипертрофированные участки тела (уши лисицы-фенек), уменьшение испарения за счет снижения листовой массы, их редукция до колючек, запас в тканях растений (суккуленты), использование соленой воды (**солянки**), воды в фитомассе растений (антилопа **аддакс** – вообще не пьет), извлечение из глубинных подземных горизонтов (корни верблюжьей колючки до 15-20м), разветвленные и глубокие корневые системы «подземные кроны» саксаульников для сбора воды с большой площади .

Крупнейшие **фитофаги** пустыни – верблюды (**дромадер, бактриан**) способны обходиться неделями без воды, потреблять жесткий колючий корм и минерировать на большие расстояния. У бактриана на зиму отрастает длинная косматая шерсть, а летом она почти вся выпадает, поэтому верблюд способен выдерживать и лютиый холод (высокогорная пустыня Гоби) и экстремальную жару. Другие растительноядные животные (антилопа аддакс, гривистый баран, дикий осел) практически не пьют воды, довольствуясь ее содержанием в фитомассе кормов. Крупные хищные животные (**львы, гепарды, гиены**) в пустыне редки и могут появляться лишь вслед мигрирующим стадам и караванам, поскольку обычно для них нет обилия пищи. Доминируют **плотоядные средних и мелких размеров** (лисица-фенек, барханная кошка, ушастый еж), **пресмыкающиеся** (серый варан, гюрза, эфа, песчаный удавчик, игуана, ушастая кругоголовка, африканский шипохвост, ядозуб жилатье), отдельные **хищные птицы** (серебристый чеглок, стервятник), **членистоногие** (пустынный скорпион, тарантул, каракурт), **падальщики, детритофаги** (жук-скарабей). Из мелких растительноядных и всеядных животных – **грызуны** (суслик, тушканчик), **птицы** (пустынный воробей, саксаульная сойка, белобрюхий рябок), пресмыкающиеся, насекомые.

Круговорот веществ в пустынных экосистемах **весьма интенсивный**, при аккумуляции органического вещества и биофильных элементов преимущественно в живых структурах. Однако, в отличие от тропических и экваториальных лесов масштабы аккумуляции и биопродуктивность крайне низкие. Запас биофильных элементов в фитомассе в среднем очень небольшой (**100-300 кг/га**, а в водорослевых такырах в всего **6-8 кг/га**), и лишь в среднеазиатских саксаульниках и тугаях может достигать величин, типичных для лесных экосистем (до **3000-7000 кг/га**). Основная доля биофильных элементов локализуется **в корнях** и многолетних наземных частях (50-80% и более). Среди элементов доминируют кремний, азот, кальций, натрий, хлор, сера (при засолении).

В прошлом естественных пустынь было меньше и во многом аридизация земель есть следствие человеческой деятельности Сведение лесной растительности, стравливание скотом пастбищ на песках, орошаемое земледелие с использованием подземных вод в условиях Экологические проблемы – **аридизация суши**, уменьшение объемов вод и ухудшение их качества, подвижные пески и песчаные бури, дефляция, антропогенная деградация почв при орошаемом земледелии, **вторичное засоление почв и вод в аридном климате**)

**Тип круговорота: Азотно-кремниевый, кремниевый-кальцевый пустынный, средне и высокозольный, малопродуктивный, интенсивный (Si, Ca, N > (Na, S, Cl)).**

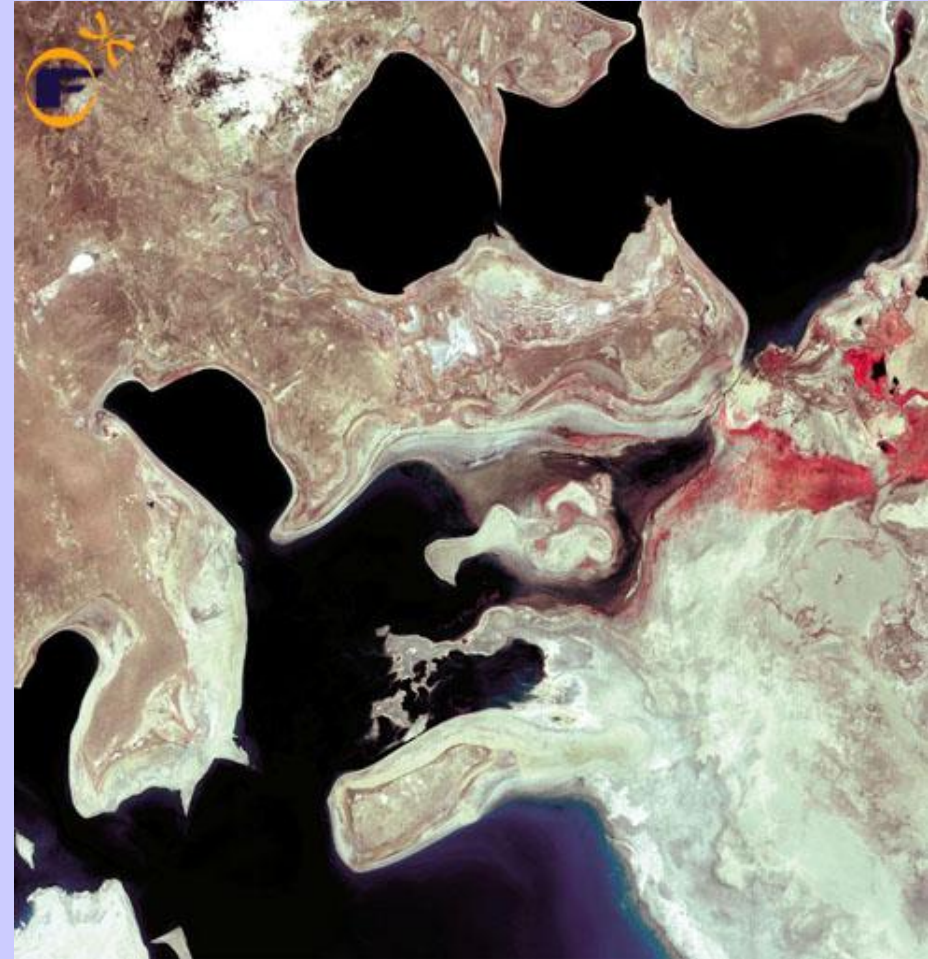


Экологическая катастрофа в Аральском регионе – результат интенсивного поливного земледелия с отчуждением впадающих в Аральское море речных вод на полив миллионов гектар рисовых и

Aral sea before the  
drying (1973 yr)

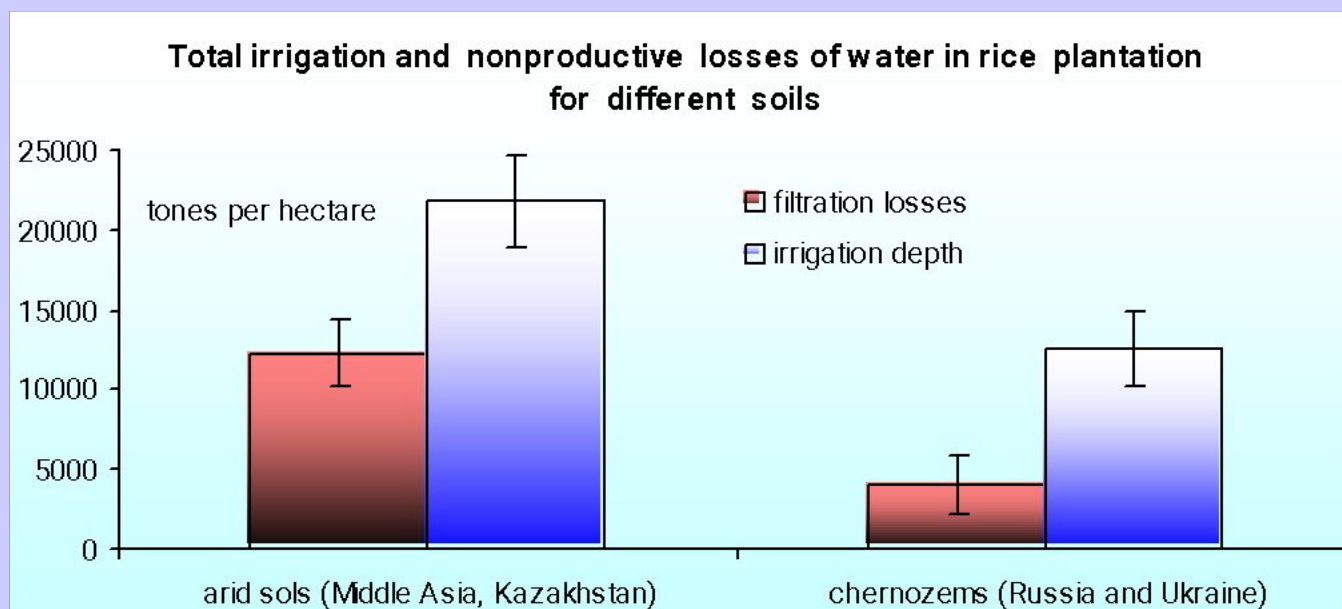
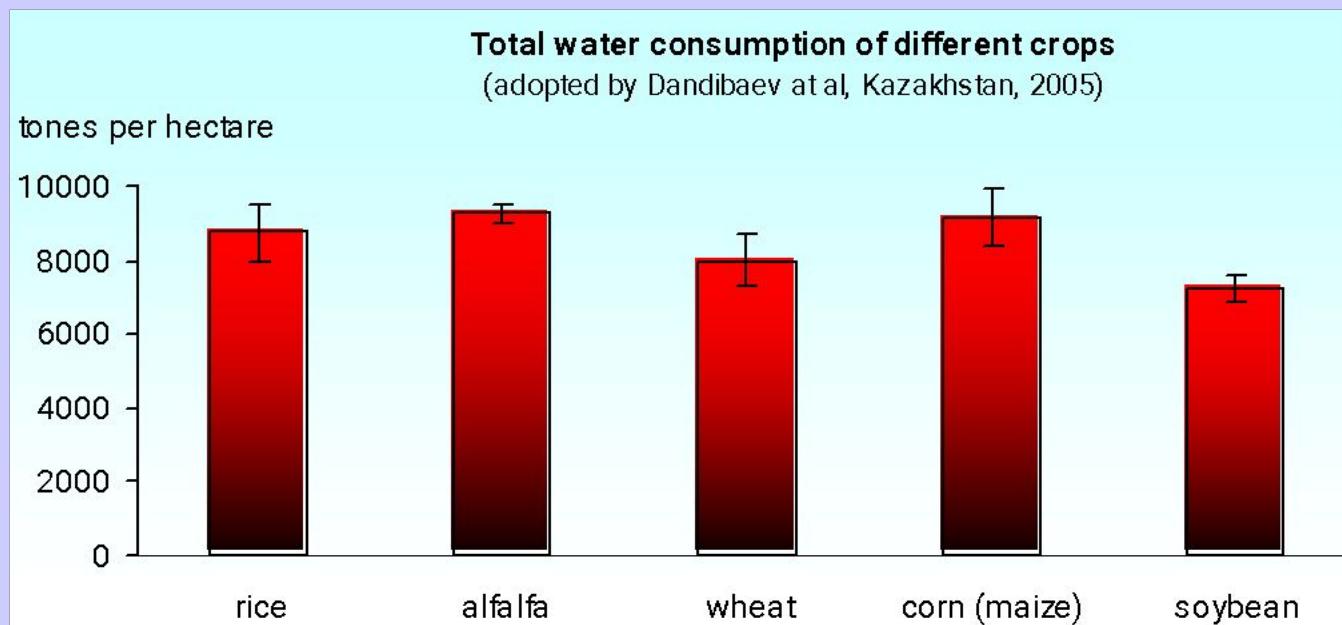
хлопковых полей.

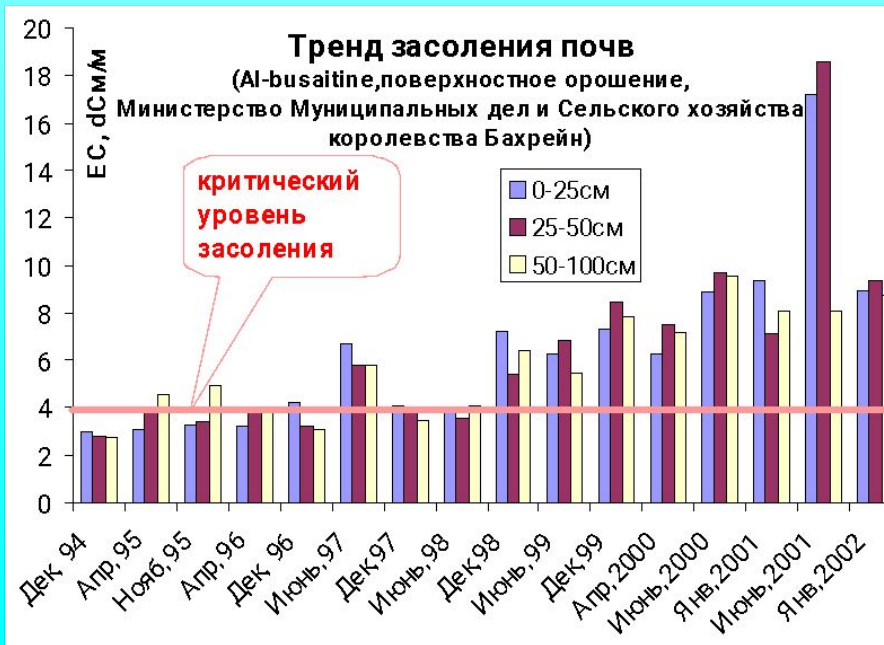
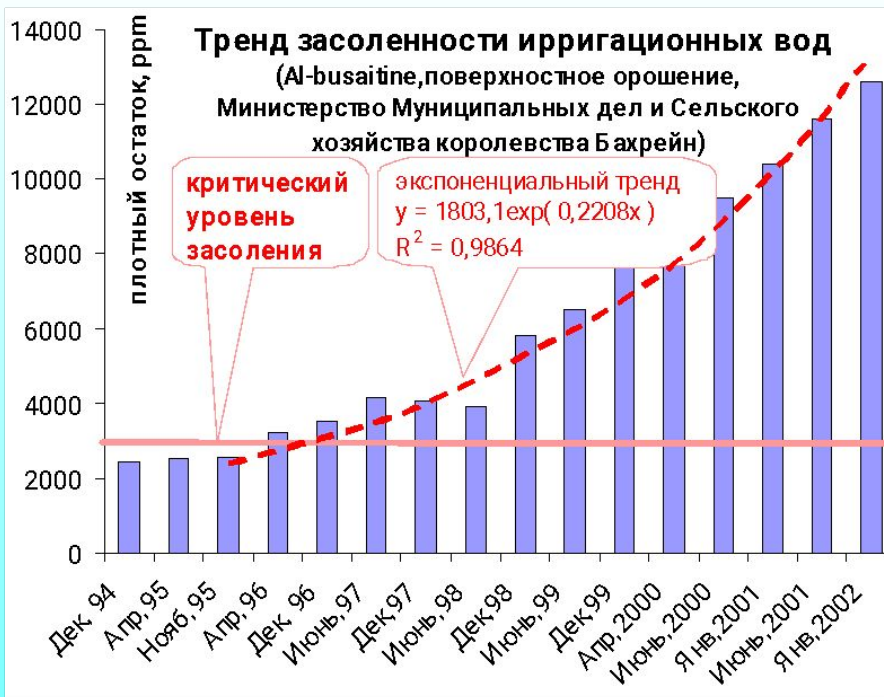
Aral sea nowadays  
(2000 yr)



**В аридном орошаемом земледелии используются повышенные поливные нормы, чтобы компенсировать непродуктивные потери на инфильтрацию, испарение. Особенно при использовании орошения напуском по бороздам (хлопок) и заливе площадей в рисоводстве.**

**Потери на аридных почвах легкого состава при этом могут быть более половины от общего количества воды.**





## Вторичное засоление орошаемых земель основная причина деградации аридных территорий

Согласно данным ФАО ЮНЕСКО за период с 1972 по 1999 гг площадь поливного земледелия стала вдвое больше, и одновременно **более 2 млн га орошаемых земель** были брошены по причине прогрессирующего засоления. Опустынивание и деградация земель распространены на большей части территорий Ирана, Ирака, Иордании, Сирии, и множества других арабских государств, включая высокоразвитые, богатые государства Персидского региона, где на программы озеленения территорий и выращивания культурной растительности тратятся миллиарды долларов. **При этом от 30 до 80%** орошаемых земель подвергнуты **засолению** – основной причине, уничтожающей пригодные для выращивания растительной продукции

**Распределенные модели динамики органического углерода почв (C, кг/м<sup>3</sup>), оценка параметров по стационарным гумусовым профилям)**

**Модель :D, м<sup>2</sup>/год – эффективный коэффициент диффузии (дисперсии), k – константа биодеструкции**

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - kC$$

**Граничные условия: C<sub>0</sub>, кг/м<sup>3</sup> – остаточное (фоновое) содержание в породе, L, кг/м<sup>2</sup>/год – поступление с опадом на поверхность почвы**

$$C|_{z \rightarrow \infty} = C_0$$
$$-D \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0} = L$$

**Аналитическое решение в стационарном состоянии ( $\partial C / \partial t = 0$ )**

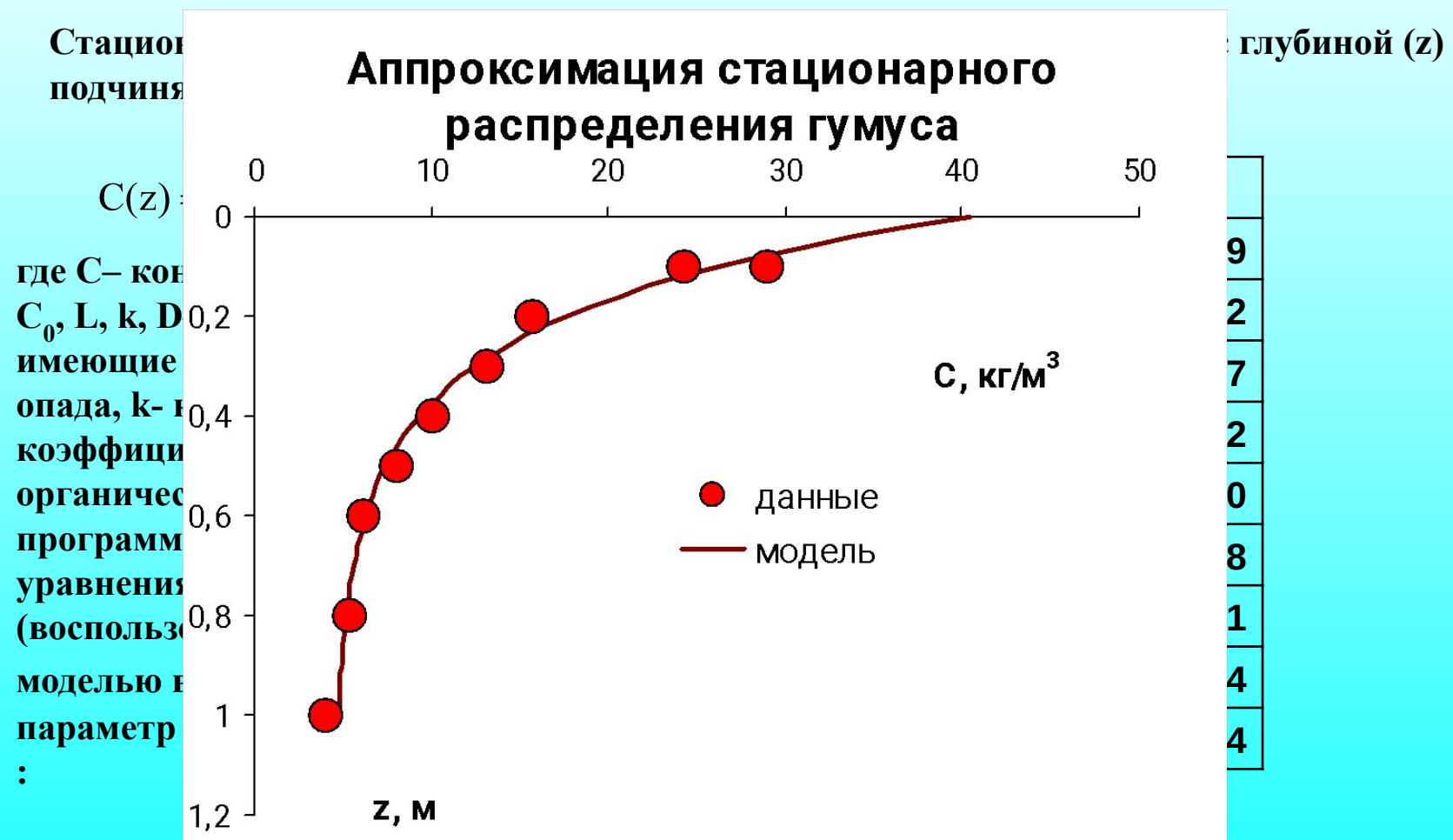
$$C(z) = C_0 + \frac{L}{\sqrt{kD}} \exp\left(-\left(\sqrt{\frac{k}{D}}\right)z\right)$$

**Модель для аппроксимации;**

$$y = y_0 + a \cdot \exp(-bz)$$

**Формулы для расчета параметров; C<sub>0</sub> = y<sub>0</sub>, D = L / (ab), k = Db<sup>2</sup>**

# Распределенные модели динамики органического углерода почв ( $C$ , $\text{кг}/\text{м}^3$ ), оценка параметров по стационарным гумусовым профилям



Ответ:  $y_0 = C_0 = \underline{4,53} \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $a = \underline{35,92} \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $b = \underline{5,03} \text{ м}^{-1}$ ,  $k = \underline{0,0028} \text{ год}^{-1}$ ,  $D = \underline{0,00011} \text{ м}^2/\text{год}$