

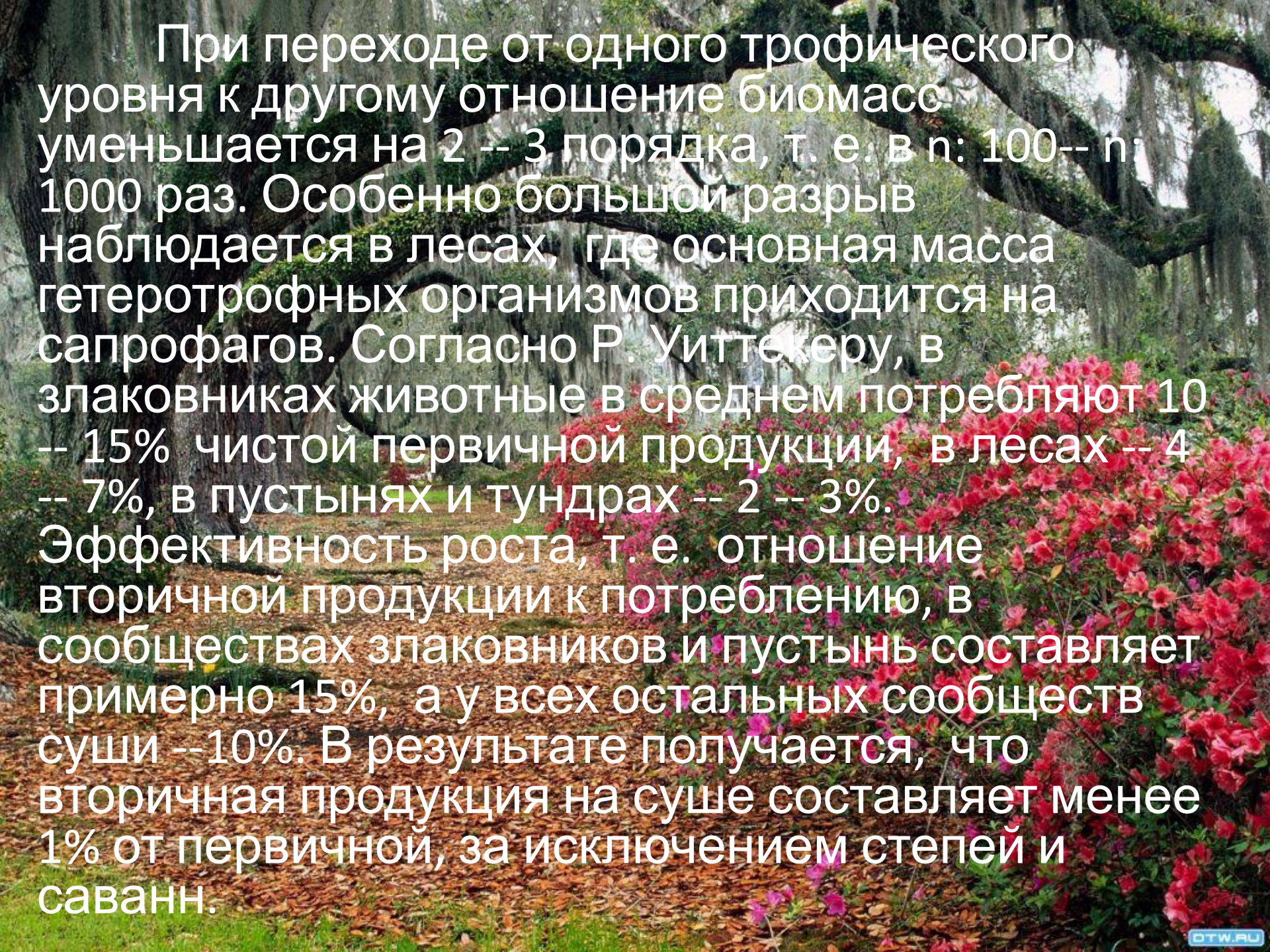
# Биогенный оборот веществ

Выполнила Петросян Рузанна



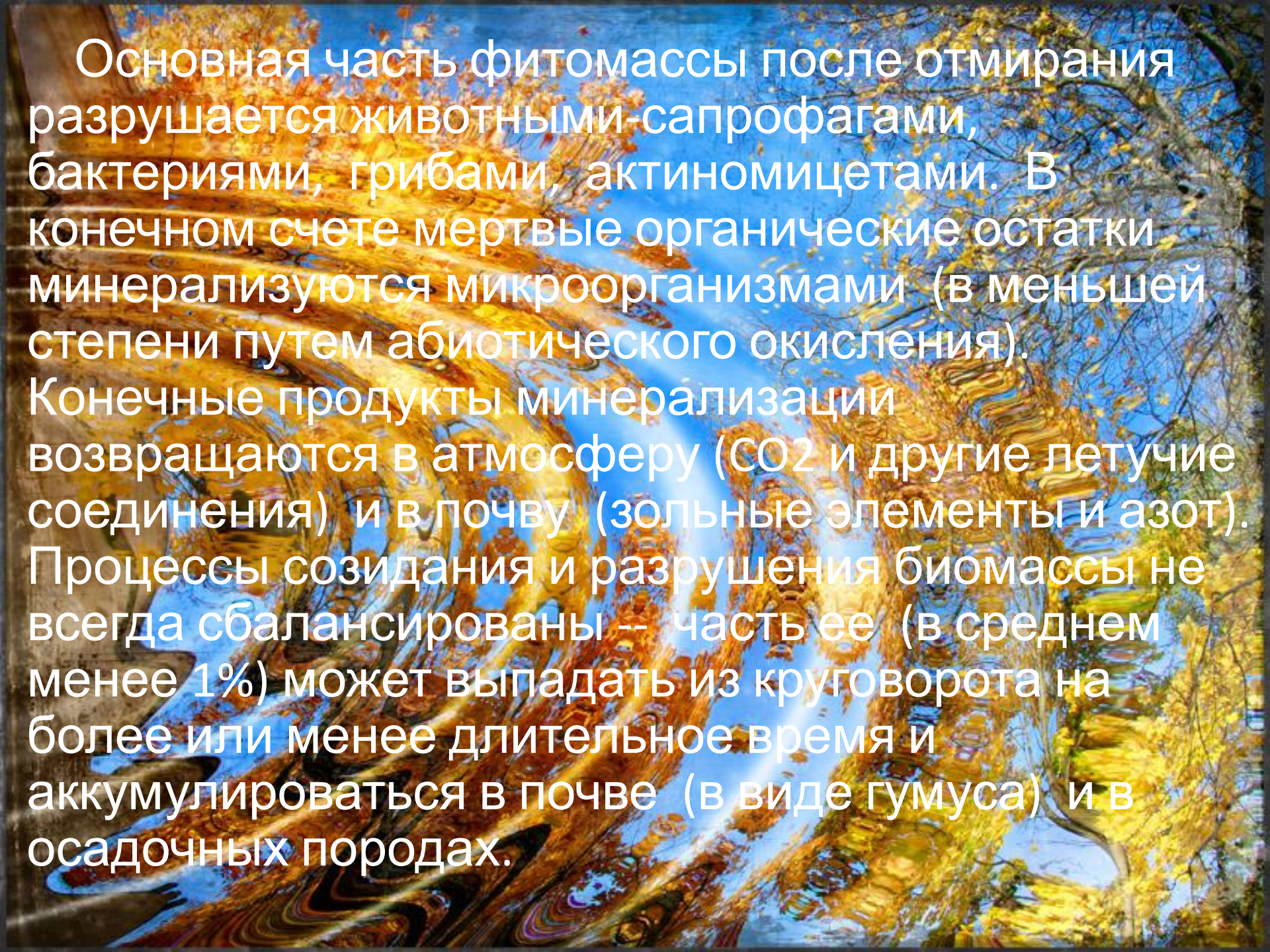
Биогеохимический цикл, или «малый биологический круговорот», -- одно из главных звеньев функционирования геосистем. В основе его -- производственный процесс, т. е. образование органического вещества первичными продуцентами -- зелеными растениями, которые извлекают двуокись углерода из атмосферы, зольные элементы и азот -- с водными растворами из почвы. Около половины создаваемого при фотосинтезе органического вещества (брутто-продукции) окисляется до  $CO_2$  при дыхании и возвращается в атмосферу. Оставшаяся (за вычетом затрат на дыхание) фитомасса называется чистой первичной продукцией. Часть ее поступает в трофическую цепочку -- потребляется растительноядными животными (фитофагами); следующий трофический уровень представлен плотоядными животными (зоофагами).





При переходе от одного трофического уровня к другому отношение биомасс уменьшается на 2 -- 3 порядка, т. е. в  $n: 100--n: 1000$  раз. Особенно большой разрыв наблюдается в лесах, где основная масса гетеротрофных организмов приходится на сапрофагов. Согласно Р. Уиттекеру, в злаковниках животные в среднем потребляют 10 -- 15% чистой первичной продукции, в лесах -- 4 -- 7%, в пустынях и тундрах -- 2 -- 3%. Эффективность роста, т. е. отношение вторичной продукции к потреблению, в сообществах злаковников и пустынь составляет примерно 15%, а у всех остальных сообществ суши -- 10%. В результате получается, что вторичная продукция на суше составляет менее 1% от первичной, за исключением степей и саванн.





Основная часть фитомассы после отмирания разрушается животными-сапрофагами, бактериями, грибами, актиномицетами. В конечном счете мертвые органические остатки минерализуются микроорганизмами (в меньшей степени путем абиотического окисления). Конечные продукты минерализации возвращаются в атмосферу ( $\text{CO}_2$  и другие летучие соединения) и в почву (зольные элементы и азот). Процессы созидания и разрушения биомассы не всегда сбалансированы -- часть ее (в среднем менее 1%) может выпадать из круговорота на более или менее длительное время и аккумулироваться в почве (в виде гумуса) и в осадочных породах.

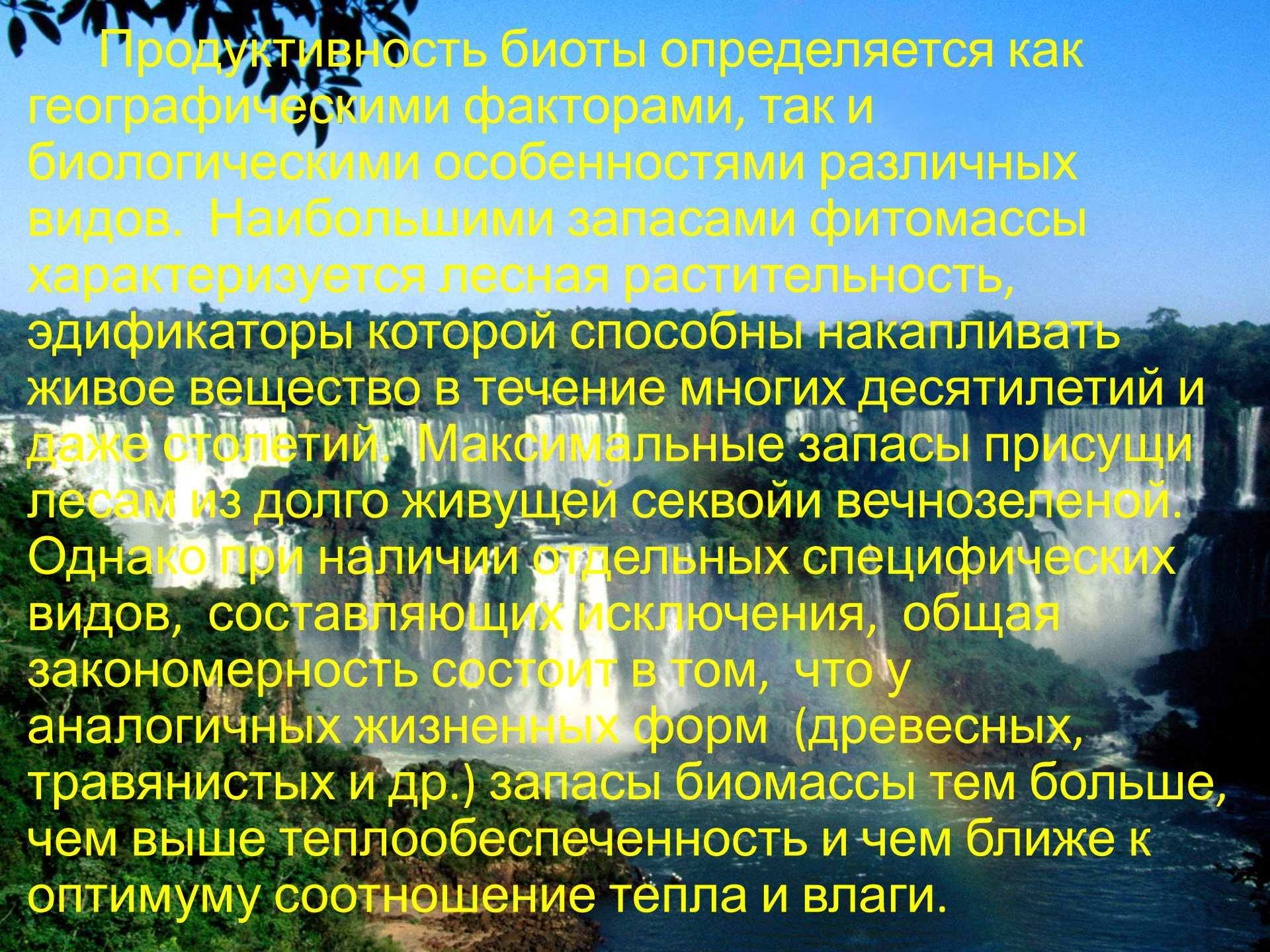


Биологический метаболизм характеризуется многочисленными показателями, в том числе относящимися к внутренним обменным процессам в самом биоценозе -- между его различными трофическими уровнями, таксономическими группами, зелеными (фотосинтезирующими), нефотосинтезирующими надземными и подземными частями фитоценоза и др.

Для оценки интенсивности круговорота используются производные показатели: отношение чистой первичной продукции к запасам фитомассы, отношение живой фитомассы к мертвому органическому веществу и др.

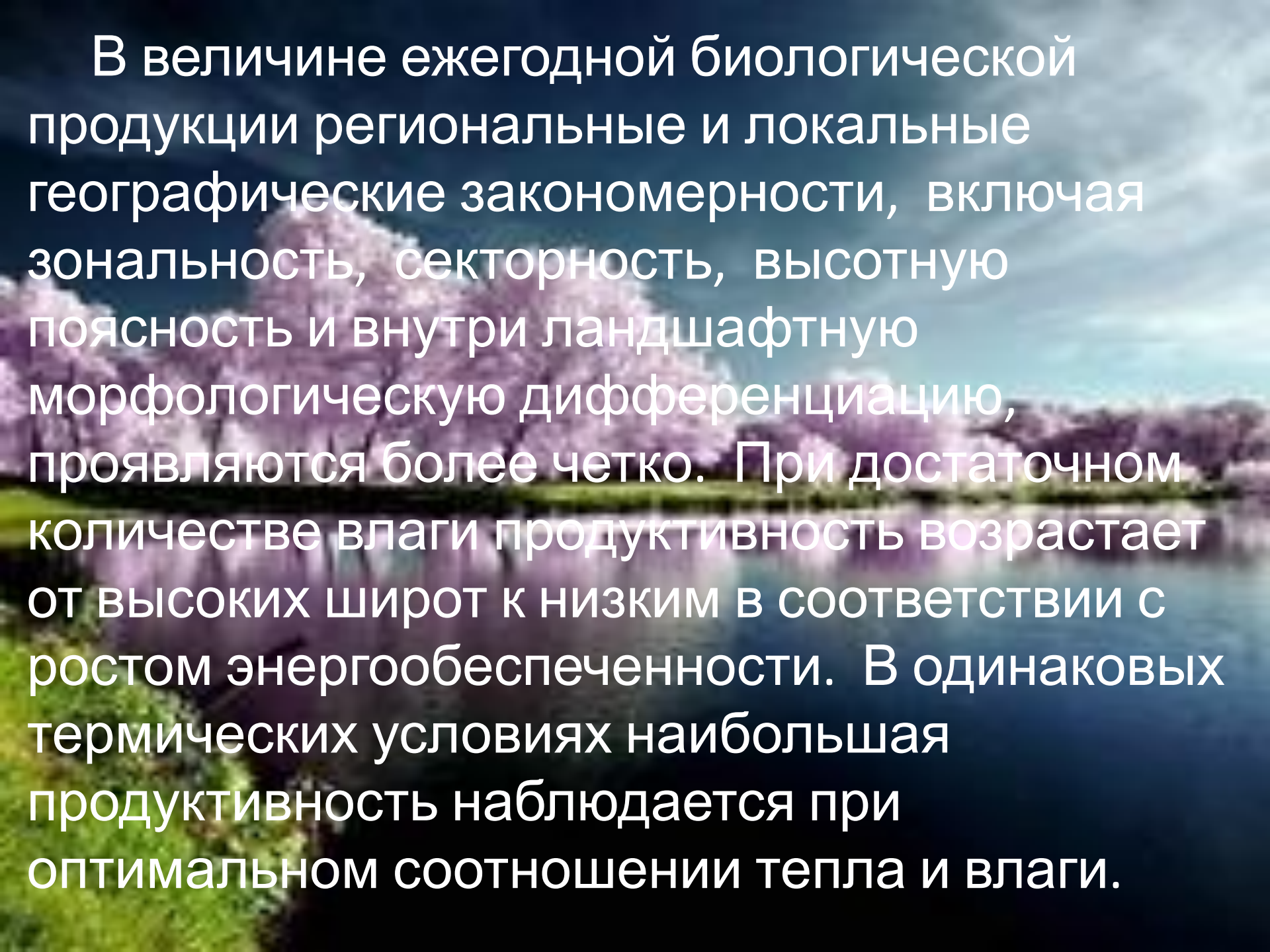
Для характеристики - 174 км вклада биоты в функционирование геосистем особенно важны биогеохимические показатели: количество элементов питания, потребляемых для создания первичной биологической продукции (емкость биологического круговорота) и их химический состав, возврат элементов с опадом и закрепление в истинном приросте, накопление в подстилке, потеря на выходе из геосистемы и степень компенсации на входе.





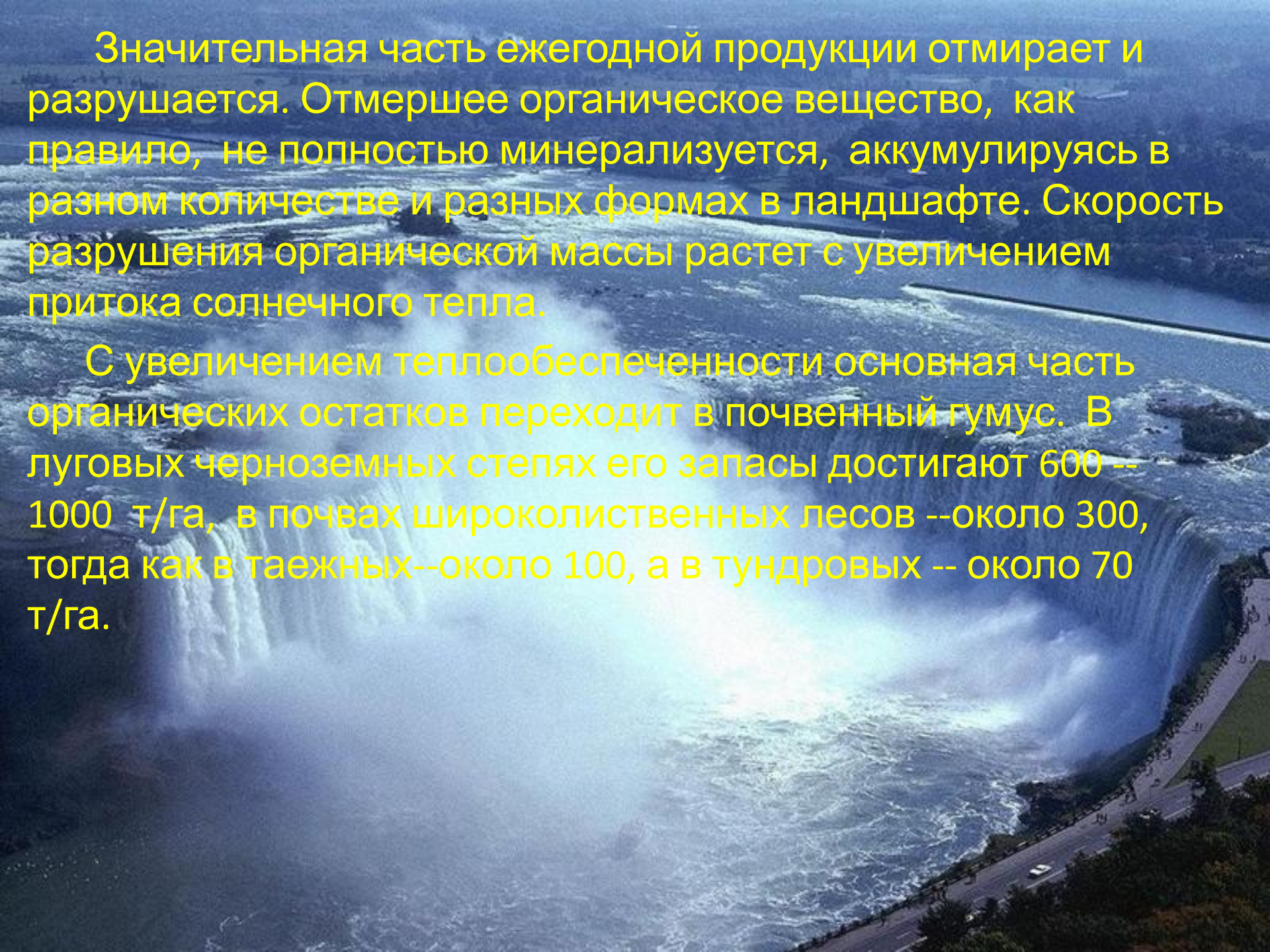
Продуктивность биоты определяется как географическими факторами, так и биологическими особенностями различных видов. Наибольшими запасами фитомассы характеризуется лесная растительность, эдификаторы которой способны накапливать живое вещество в течение многих десятилетий и даже столетий. Максимальные запасы присущи лесам из долго живущей секвойи вечнозеленой. Однако при наличии отдельных специфических видов, составляющих исключения, общая закономерность состоит в том, что у аналогичных жизненных форм (древесных, травянистых и др.) запасы биомассы тем больше, чем выше теплообеспеченность и чем ближе к оптимуму соотношение тепла и влаги.





В величине ежегодной биологической продукции региональные и локальные географические закономерности, включая зональность, секторность, высотную поясность и внутри ландшафтную морфологическую дифференциацию, проявляются более четко. При достаточном количестве влаги продуктивность возрастает от высоких широт к низким в соответствии с ростом энергообеспеченности. В одинаковых термических условиях наибольшая продуктивность наблюдается при оптимальном соотношении тепла и влаги.

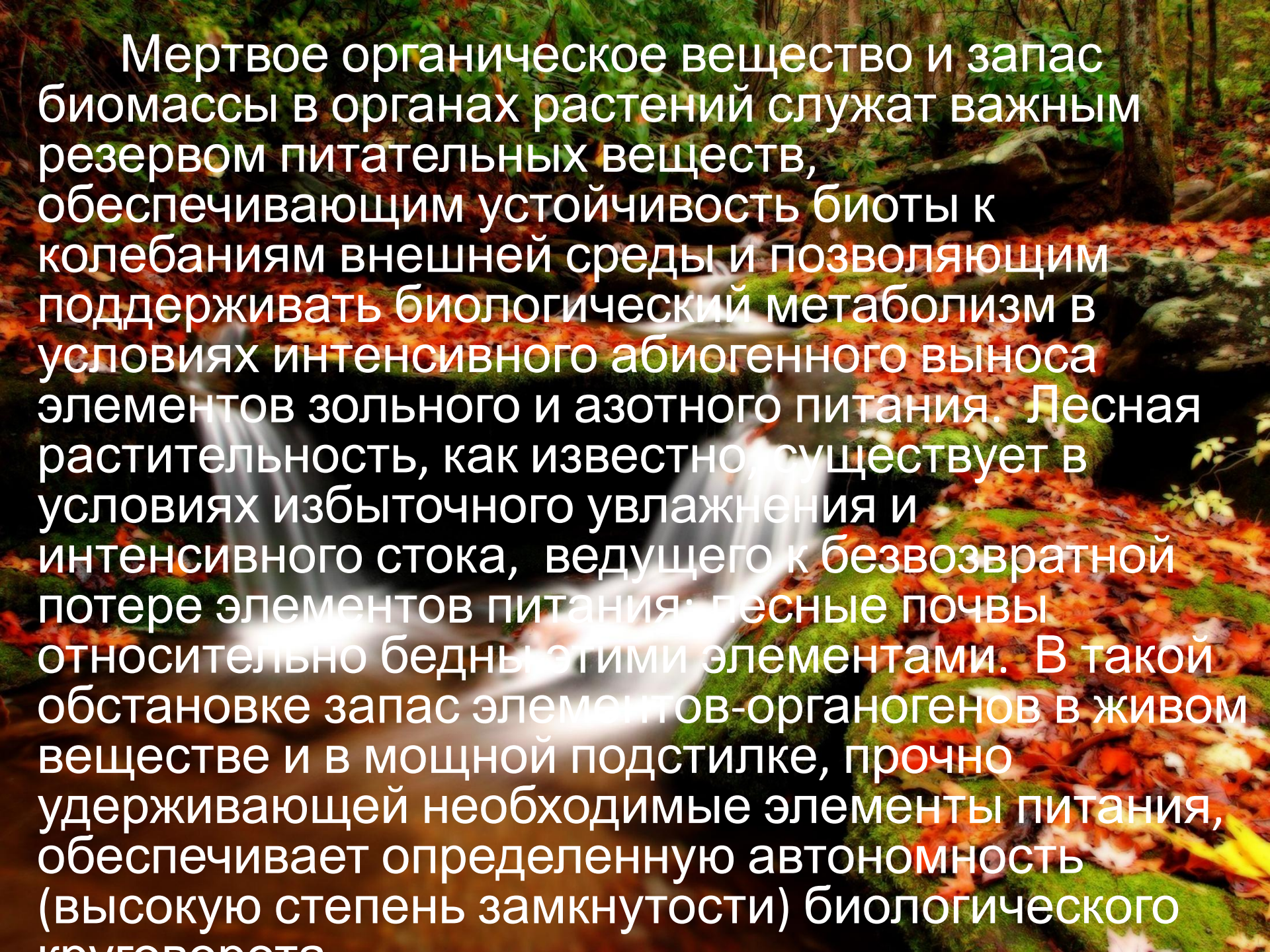


An aerial photograph of a massive waterfall, likely the Victoria Falls, with a road and cars visible at the base. The water is white and turbulent as it falls into a pool below. The surrounding area is lush green with trees and a paved road with several cars driving along it.

Значительная часть ежегодной продукции отмирает и разрушается. Отмершее органическое вещество, как правило, не полностью минерализуется, аккумулируясь в разном количестве и разных формах в ландшафте. Скорость разрушения органической массы растет с увеличением притока солнечного тепла.

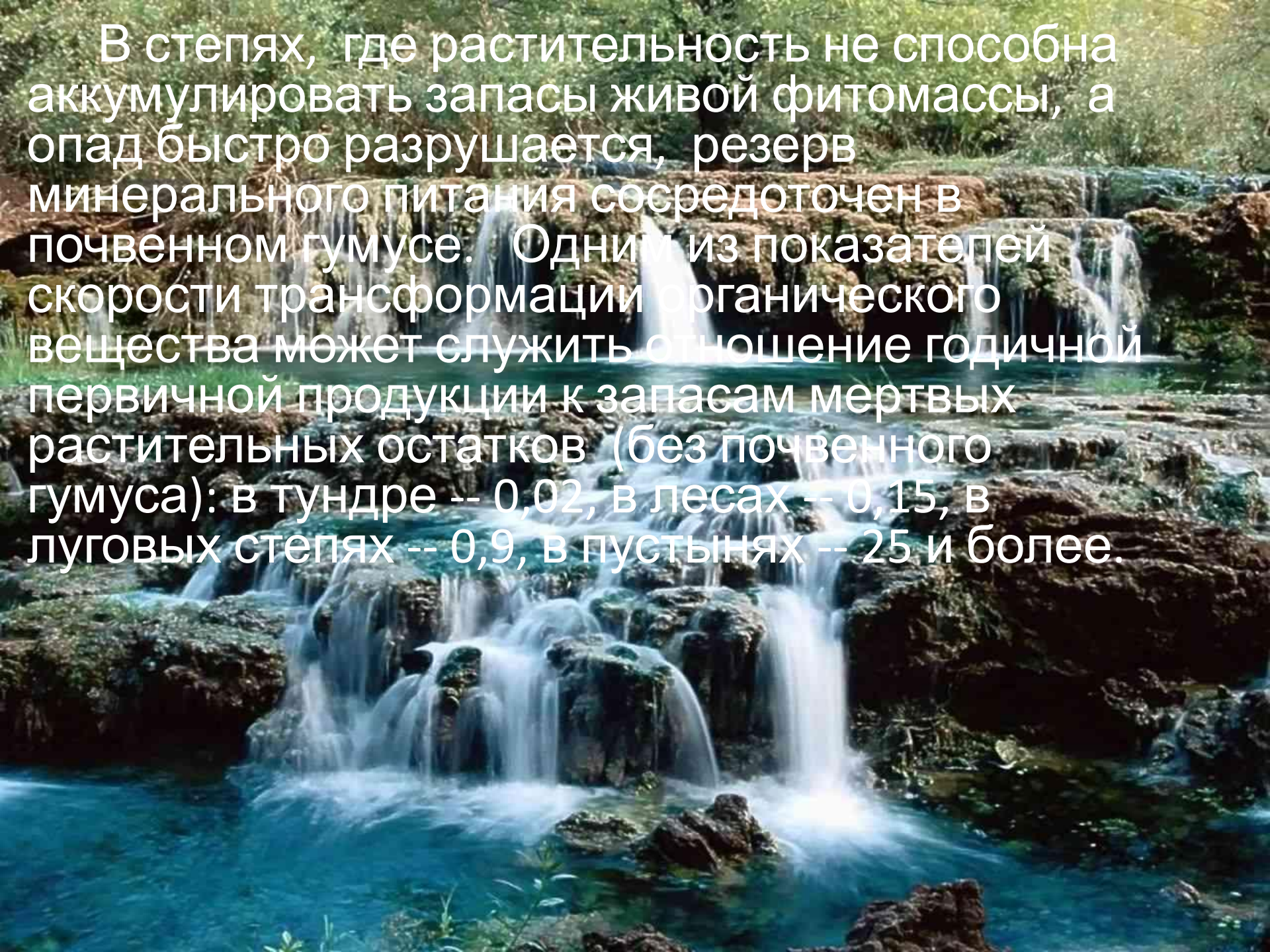
С увеличением теплообеспеченности основная часть органических остатков переходит в почвенный гумус. В луговых черноземных степях его запасы достигают 600 -- 1000 т/га, в почвах широколиственных лесов -- около 300, тогда как в таежных -- около 100, а в тундровых -- около 70 т/га.



A photograph of a forest stream with a small waterfall. The water is clear and flows over mossy rocks. The surrounding forest floor is covered in fallen autumn leaves in shades of red, orange, and yellow. The background shows dense green foliage and tree trunks.

Мертвое органическое вещество и запас биомассы в органах растений служат важным резервом питательных веществ, обеспечивающим устойчивость биоты к колебаниям внешней среды и позволяющим поддерживать биологический метаболизм в условиях интенсивного абиогенного выноса элементов зольного и азотного питания. Лесная растительность, как известно, существует в условиях избыточного увлажнения и интенсивного стока, ведущего к безвозвратной потере элементов питания: лесные почвы относительно бедны этими элементами. В такой обстановке запас элементов-органогенов в живом веществе и в мощной подстилке, прочно удерживающей необходимые элементы питания, обеспечивает определенную автономность (высокую степень замкнутости) биологического круговорота.



A scenic waterfall cascading over mossy rocks in a lush forest. The water flows in multiple tiers, creating a soft, blurred effect. The surrounding vegetation is dense and green, with sunlight filtering through the trees. The overall atmosphere is serene and natural.

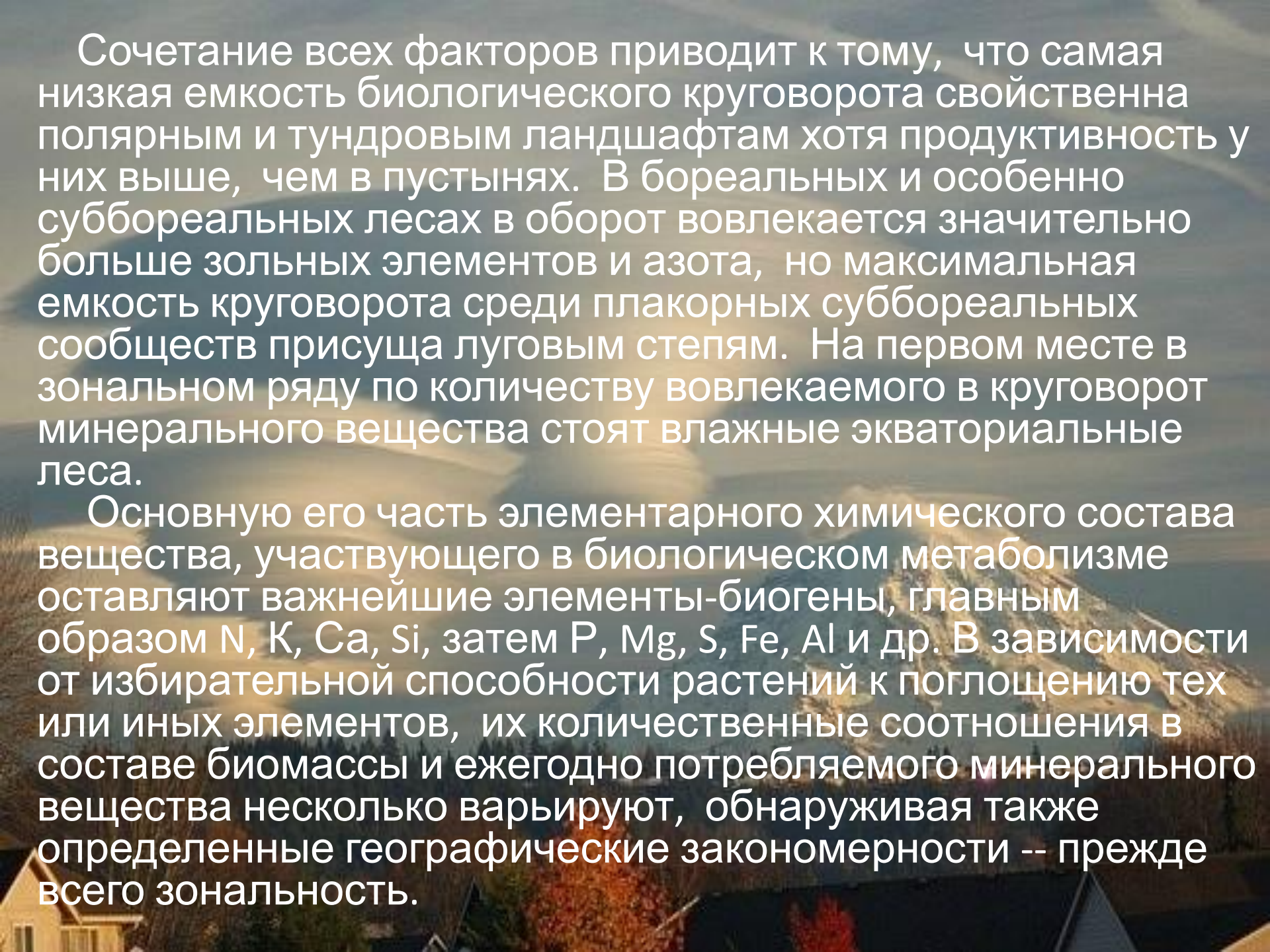
В степях, где растительность не способна аккумулировать запасы живой фитомассы, а опад быстро разрушается, резерв минерального питания сосредоточен в почвенном гумусе. Одним из показателей скорости трансформации органического вещества может служить отношение годичной первичной продукции к запасам мертвых растительных остатков (без почвенного гумуса): в тундре -- 0,02, в лесах -- 0,15, в луговых степях -- 0,9, в пустынях -- 25 и более.



С величиной первичной биологической продуктивности непосредственно.

Хвойные деревья ассимилируют больше солевых элементов и азота, чем лиственные, а последние -- меньше, чем травянистая растительность. Растения аридных областей используют для создания органической массы больше химических элементов, чем растения гумидных областей. Наименьшая зольность у мхов (2-- 4% от сухого вещества), наибольшая -- у галофитов (до 25%). Зольность хвои и листьев деревьев -- 3 -- 4%, древесины хвойных--0,4,

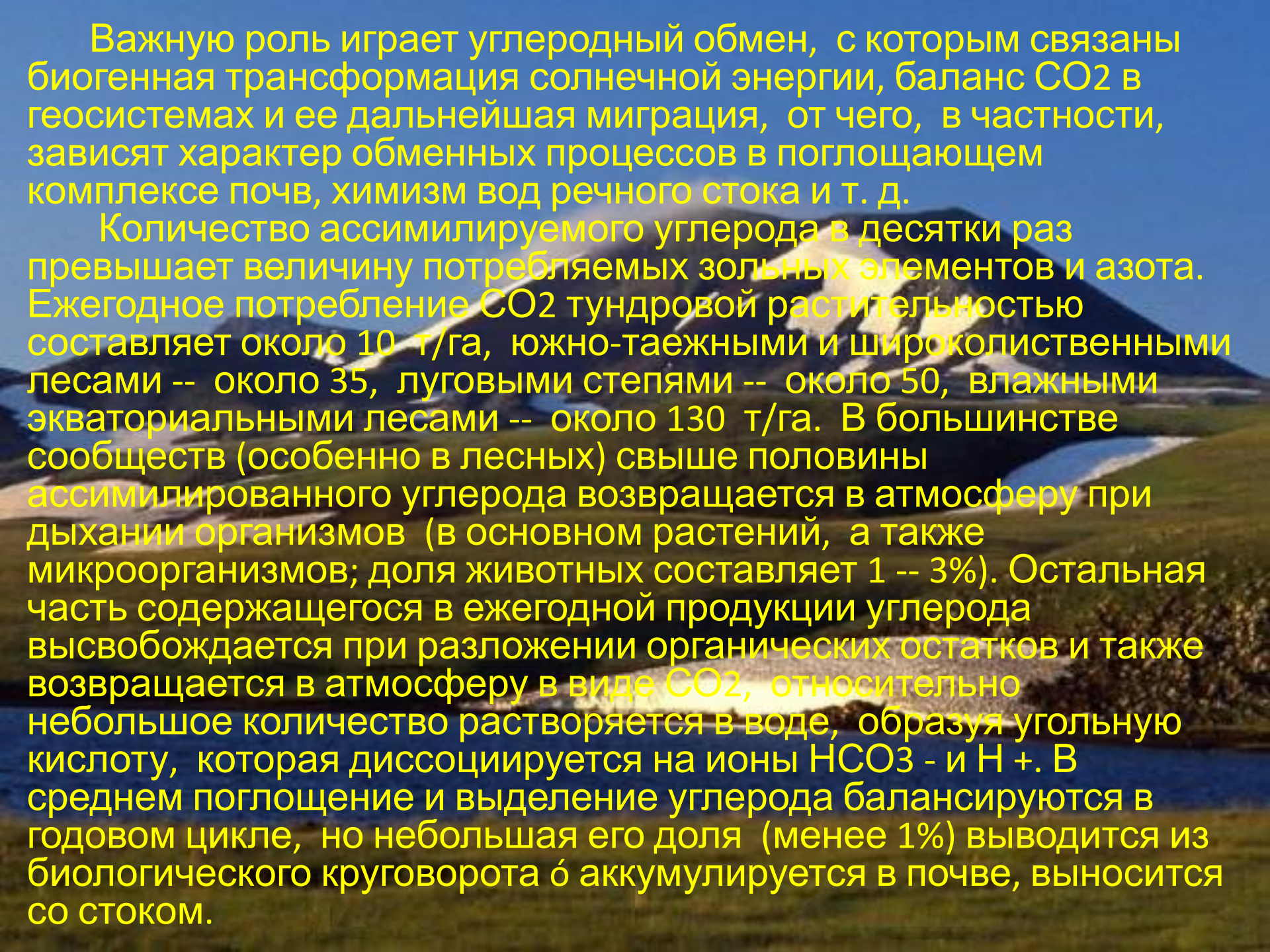




Сочетание всех факторов приводит к тому, что самая низкая емкость биологического круговорота свойственна полярным и тундровым ландшафтам хотя продуктивность у них выше, чем в пустынях. В бореальных и особенно суббореальных лесах в оборот вовлекается значительно больше зольных элементов и азота, но максимальная емкость круговорота среди плакорных суббореальных сообществ присуща луговым степям. На первом месте в зональном ряду по количеству вовлекаемого в круговорот минерального вещества стоят влажные экваториальные леса.

Основную его часть элементарного химического состава вещества, участвующего в биологическом метаболизме оставляют важнейшие элементы-биогены, главным образом N, K, Ca, Si, затем P, Mg, S, Fe, Al и др. В зависимости от избирательной способности растений к поглощению тех или иных элементов, их количественные соотношения в составе биомассы и ежегодно потребляемого минерального вещества несколько варьируют, обнаруживая также определенные географические закономерности -- прежде всего зональность.

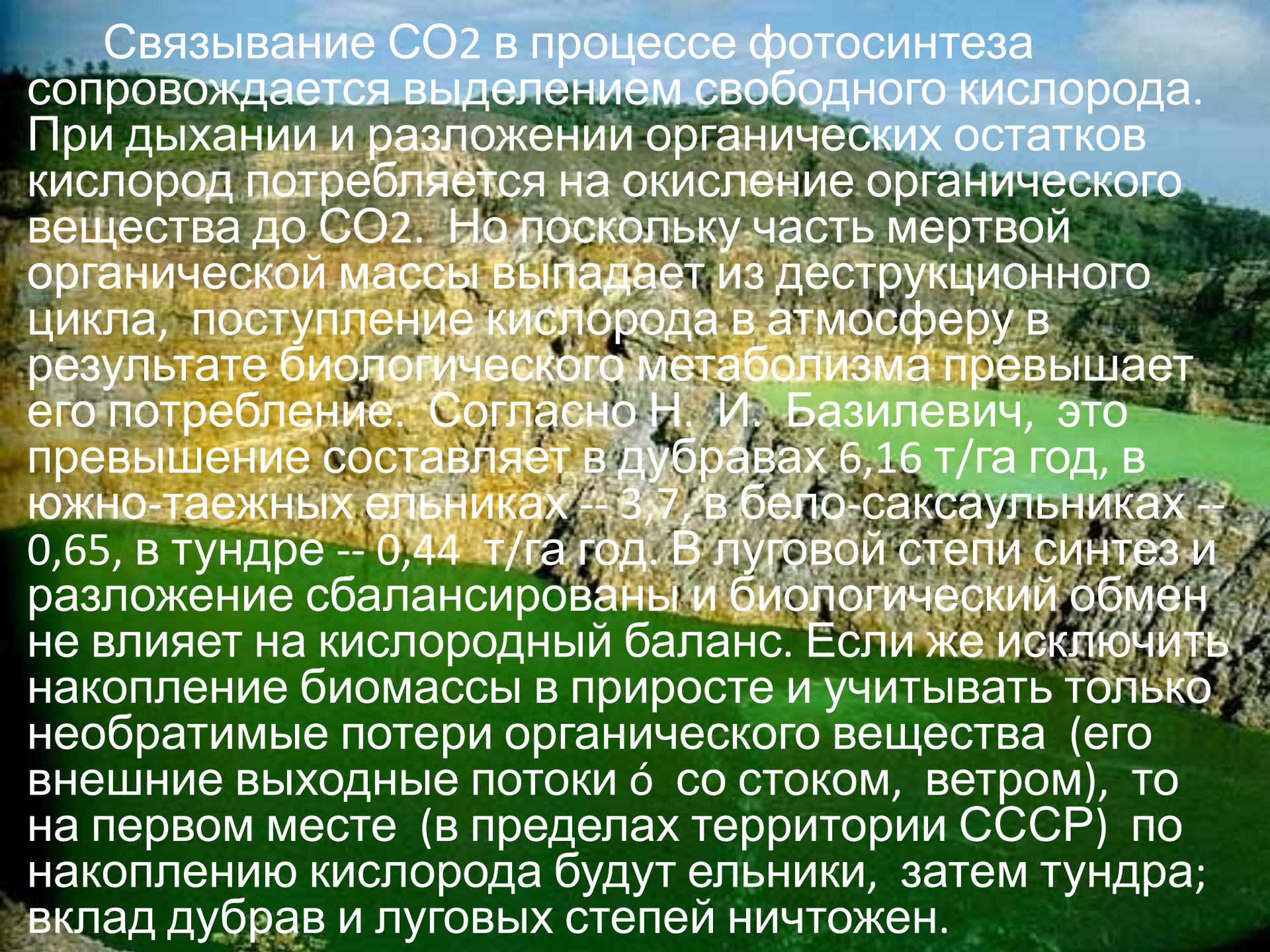




Важную роль играет углеродный обмен, с которым связаны биогенная трансформация солнечной энергии, баланс  $\text{CO}_2$  в геосистемах и ее дальнейшая миграция, от чего, в частности, зависят характер обменных процессов в поглощающем комплексе почв, химизм вод речного стока и т. д.

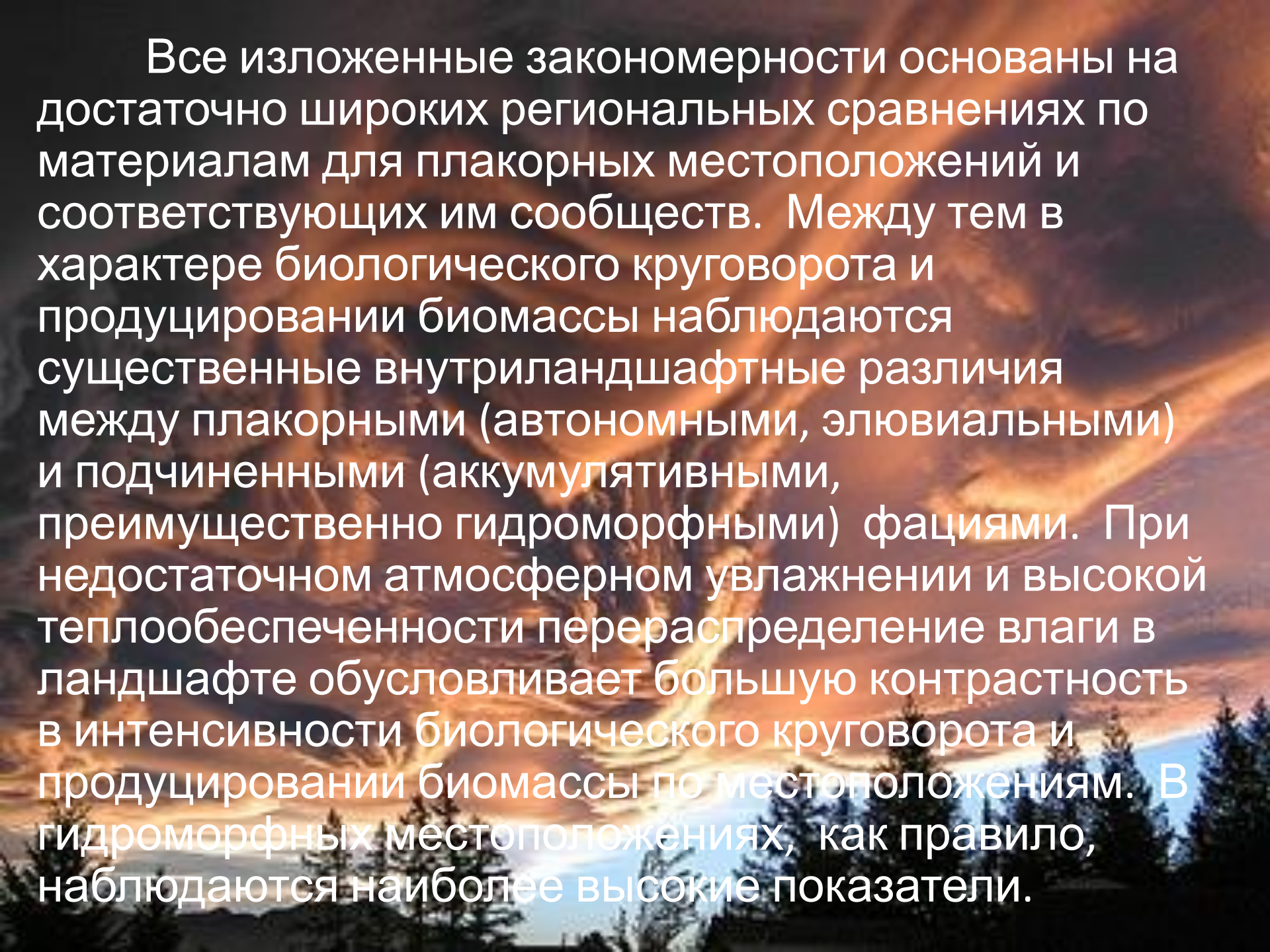
Количество ассимилируемого углерода в десятки раз превышает величину потребляемых зольных элементов и азота. Ежегодное потребление  $\text{CO}_2$  тундровой растительностью составляет около 10 т/га, южно-таежными и широколиственными лесами -- около 35, луговыми степями -- около 50, влажными экваториальными лесами -- около 130 т/га. В большинстве сообществ (особенно в лесных) свыше половины ассимилированного углерода возвращается в атмосферу при дыхании организмов (в основном растений, а также микроорганизмов; доля животных составляет 1 -- 3%). Остальная часть содержащегося в ежегодной продукции углерода высвобождается при разложении органических остатков и также возвращается в атмосферу в виде  $\text{CO}_2$ , относительно небольшое количество растворяется в воде, образуя угольную кислоту, которая диссоциирует на ионы  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{H}^+$ . В среднем поглощение и выделение углерода балансируются в годовом цикле, но небольшая его доля (менее 1%) выводится из биологического круговорота и аккумулируется в почве, выносится со стоком.





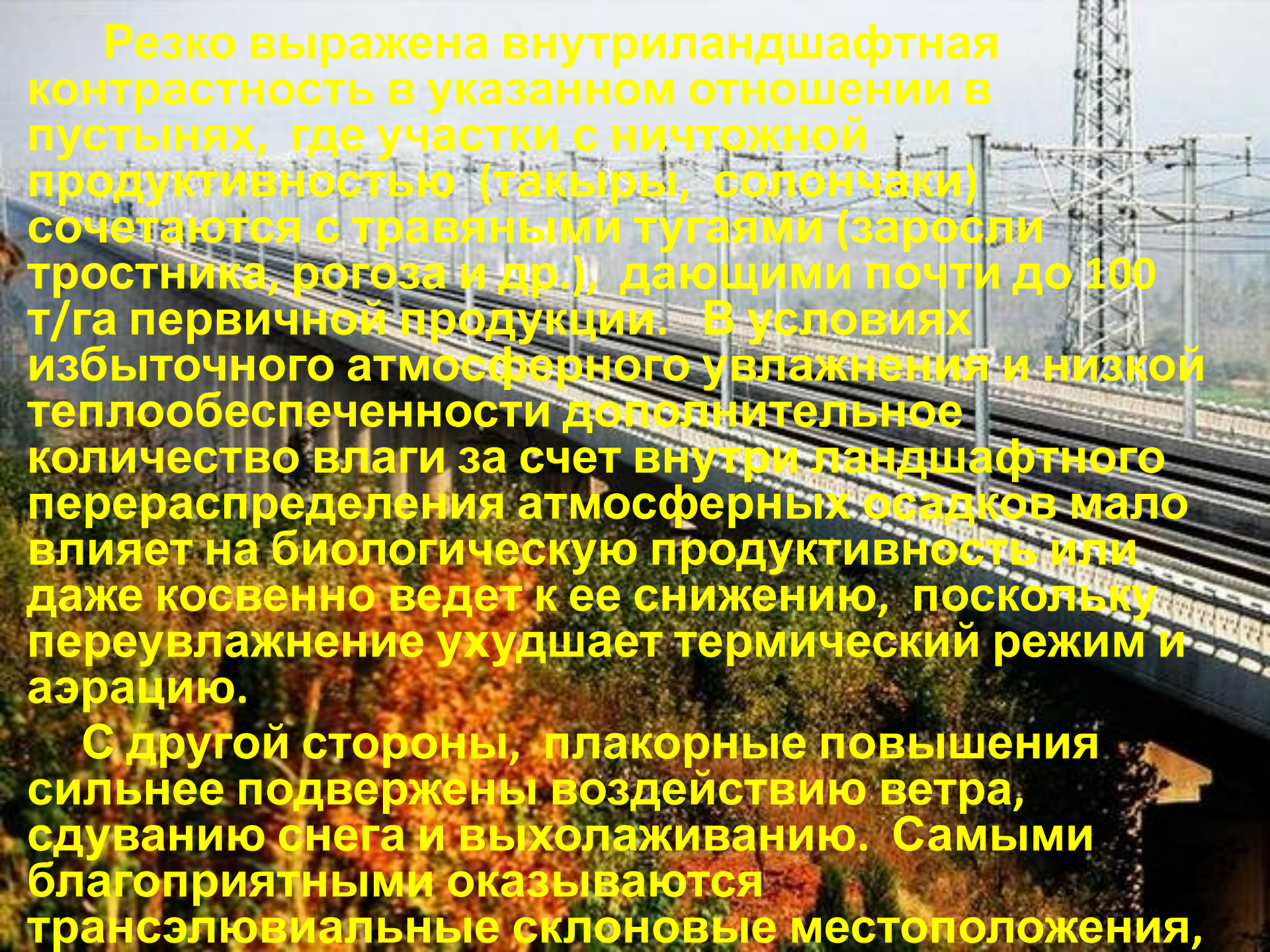
Связывание  $\text{CO}_2$  в процессе фотосинтеза сопровождается выделением свободного кислорода. При дыхании и разложении органических остатков кислород потребляется на окисление органического вещества до  $\text{CO}_2$ . Но поскольку часть мертвой органической массы выпадает из деструкционного цикла, поступление кислорода в атмосферу в результате биологического метаболизма превышает его потребление. Согласно Н. И. Базилевич, это превышение составляет в дубравах 6,16 т/га год, в южно-таежных ельниках -- 3,7, в бело-саксаульниках -- 0,65, в тундре -- 0,44 т/га год. В луговой степи синтез и разложение сбалансированы и биологический обмен не влияет на кислородный баланс. Если же исключить накопление биомассы в приросте и учитывать только необратимые потери органического вещества (его внешние выходные потоки ó со стоком, ветром), то на первом месте (в пределах территории СССР) по накоплению кислорода будут ельники, затем тундра; вклад дубрав и луговых степей ничтожен.





Все изложенные закономерности основаны на достаточно широких региональных сравнениях по материалам для плакорных местоположений и соответствующих им сообществ. Между тем в характере биологического круговорота и продуцировании биомассы наблюдаются существенные внутриландшафтные различия между плакорными (автономными, элювиальными) и подчиненными (аккумулятивными, преимущественно гидроморфными) фациями. При недостаточном атмосферном увлажнении и высокой теплообеспеченности перераспределение влаги в ландшафте обуславливает большую контрастность в интенсивности биологического круговорота и продуцировании биомассы по местоположениям. В гидроморфных местоположениях, как правило, наблюдаются наиболее высокие показатели.



An aerial photograph showing a railway track with overhead power lines. The foreground is dominated by a dense forest with autumn-colored trees in shades of orange, red, and yellow. The railway tracks run diagonally across the frame, with several tall metal pylons supporting the overhead power lines. The background shows a hazy, overcast sky and a distant horizon.

Резко выражена внутриландшафтная контрастность в указанном отношении в пустынях, где участки с ничтожной продуктивностью (такыры, солончаки) сочетаются с травяными тугаями (заросли тростника, рогоза и др.), дающими почти до 100 т/га первичной продукции. В условиях избыточного атмосферного увлажнения и низкой теплообеспеченности дополнительное количество влаги за счет внутри ландшафтного перераспределения атмосферных осадков мало влияет на биологическую продуктивность или даже косвенно ведет к ее снижению, поскольку переувлажнение ухудшает термический режим и аэрацию.

С другой стороны, плакорные повышения сильнее подвержены воздействию ветра, сдуванию снега и выхолаживанию. Самыми благоприятными оказываются трансэлювиальные склоновые местоположения,



Степень замкнутости биологического круговорота также различна для автономных и подчиненных фаций. Первые в целом характеризуются высокой замкнутостью круговорота, т. е. незначительным участием внешних потоков органического вещества по сравнению с внутренними. Приток вещества извне (с атмосферными осадками, пылью), как правило, невелик, потеря его (со стоком, ветровым выносом) чаще превышает приток, но в разных зональных типах геосистем соотношения могут существенно дифференцироваться. По расчетам Н. И. Базилевич, в тундре входные потоки органического вещества составляют всего 0,2% от величины ежегодной первичной продукции, а выходные достигают около 4%, так что баланс вещества отрицательный и потеря его составляет 116 кг/га, или 3,4% от ежегодной продукции. В южно-таежных ельниках вынос (365 кг/га) превышает принос извне (15 кг/га) на 350 кг/га, т. е. составляет примерно 2% от первичной продукции. В дубравах входные и выходные потоки (10 и 9 кг/га соответственно) почти сбалансированы, а в луговой степи первые даже несколько превышают вторые (10 против 1,4 кг/га), так что положительное сальдо баланса составляет около 0,4% от первичной продукции. В белосаксаульниках потери органического вещества, главным образом из-за выдувания, равны 30 кг/га, приход же незначителен (2 кг/га), и в среднем за год теряется около 10% первичной продукции.



Спасибо за внимание.

