# БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОГЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

*Ермаков В.В., Тютиков С.Ф.*

## Биогеохимия и техногенез

Биогеохимия как раздел геохимии, изучающей жизнь в аспекте миграции атомов и трансформации энергии, сформирована В.И. Вернадским в 20-х гг. XX века. В ней нашли отражение идеи ученого о единстве жизни и геохимической среды, планетарной роли живого вещества, функциях биосферы и ее техногенной эволюции [2].

**Биогеохимия** в настоящее время - система знаний, системная наука об элементном составе живого вещества и его роли в миграции, трансформации и концентрировании химических элементов и их соединений в биосфере, о геохимических процессах с участием организмов, их взаимодействии с геохимической средой и геохимических функциях биосферы [7].

Это приоритетное научное направление. Востребованность направления обусловлена техногенной эволюцией планеты и поисками адекватных путей взаимодействия человека и природы. Знания биогеохимии необходимы в медицине и сельском хозяйстве, они определяют стратегию формирования ноосферных технологий.

В настоящее время центральной проблемой биогеохимии является загрязнение различных таксонов биосферы в результате техногенеза.

**Техногенез** – преобразование планеты Земля в результате современной хозяйственной деятельности человека. Количественно этот процесс можно характеризовать отношением размеров природных, сельскохозяйственных + селитебных территорий. В результате активной хозяйственной деятельности это соотношение в течение только 20 столетия увеличилось практически на порядок [6, 10].

Техногенез как антропогенная эволюция биосферы характеризуется экстенсивным земледелием, мощной развитой индустрией, массивным использованием энергии и природных ресурсов. Эта стадия эволюции биосферы связана с уменьшением биоразнообразия (сокращение видов различных организмов) и другими неблагоприяными для живого явлениями. Тем не менее, в настоящее время биосфера переживает состояние адаптации (стадию коррекции техногенной деятельности человека и начало появления разумных ресурсосберегающих ноосферных технологий).

**Загрязнение** – это процесс поступления и включения в экосистемы техногенных или природных веществ в токсичных для экосистем количествах или, способствующих образованию новых опасных соединений.

По нашему мнению, **загрязнитель** – это вещество или смесь веществ техногенного или природного характера, нарушающий циклы миграции химических элементов и трансформации энергии и оказывающий неблагоприятное воздействие на функционирование экосистем в целом.

**Основные виды загрязнений:** массивное внесение удобрений и пестицидов, чрезмерное сжигание угля и нефтепродуктов, неадекватное использование атомной энергии, несовершенство технологий производства продуктов питания и кормов, широкое применение детергентов, пыль и мусор, биологические и другие отходы, чрезмерное применение лекарств и пищевых добавок, продукты индустрии и металлургии, строительные материалы.

Среди других экологических факторов следует отметить влияние излучений как проявление информационной функции биосферы. В большинстве случаев эти факторы воздействуют на организмы и потоки химических элементов, изменяя их локальные, региональные и глобальные биогеохимические циклы.

## Циклы химических элементов

Циклы кислорода, углерода и воды определяют состояние биосферы. Они взаимосвязаны между собой и круговоротом остальных химических элементов (рис. 1). Их взаимодействие – важная часть общей миграции вещества. Так, выброс в атмосферу оксида углерода сопровождается его поглощением водными резервуарами с образованием карбонатов кальция и других металлов и частичным рассеянием и преобразованием в тропосфере. Водород и кислород связаны в процессах биологического дыхания (поглощение гемоглобином кислорода и окислительно-восстановительные реакции с участием пероксида водорода и водорода).

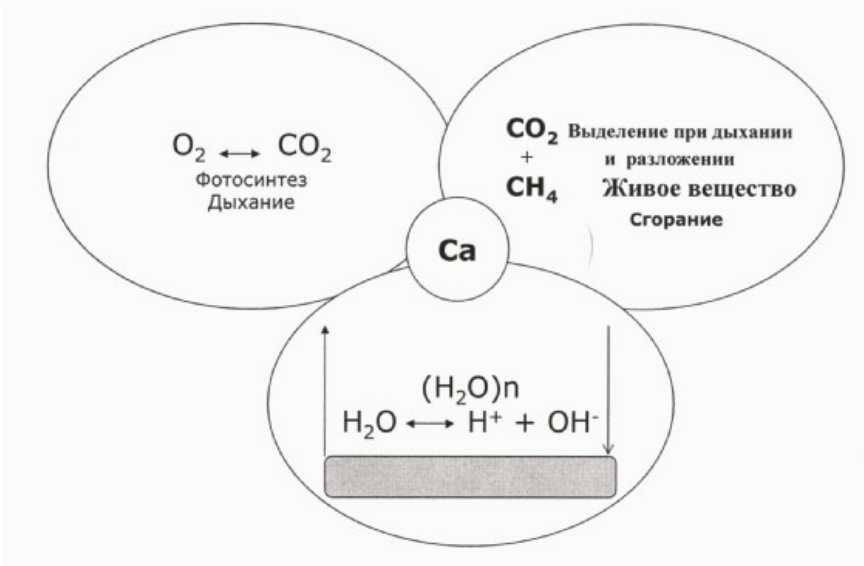


Рис. 1. Взаимодействие циклов основных химических элементов биосферы

При рассмотрении глобальных циклов макроэлементов преобладает **концепция баланса**. Количество кислорода, выделяемого в процессе фотосинтеза должно быть равно количеству кислорода, потребляемому в процессе дыхания и процессов его анаэробного использования организмами. Количество поступающего в биосферу углекислого газа должно быть равно количеству оксида углерода, используемого при фотосинтезе и поглощенного водными резервуарами и организмами.

Живое вещество содержит 9,4% водорода, 18,5%углерода и 68,1% кислорода [3].

Полагают, что в настоящее время содержание оксида углерода увеличивается как результат активности человека. Часть углерода, трансформируемого при сжигании топлива, действительно очень высока – 6 Гг/год, но это значительно меньше природной компоненты суши -11,8 Гг/год [5]. Однако это спорное положение. Мы не располагаем точными оценками массы живого вещества. Оно дифференцировано по различным резервуарам и его необходимо подвергнуть инвентаризации.

Предполагаемая масса живого вещества в биосфере оценивается в 2420 биллион тонн - $2{,}4 \times 10^{12}$ тонн. Это в 2000 раз меньше, чем его масса, рассеянная в атмосфере. Масса последней составляет $5{,}15 \times 10^{15}$ тонн. Масса гидросферы равна $1{,}5 \times 10^{18}$ тонн, масса земной коры - $2{,}8 \times 10^{19}$тонн [3]. Необходимо отметить, что растения выделяют кислород только на свету. Касаясь циклов воды, необходимо напомнить, что сейчас потребление речного стока воды достигает 10% от общего стока [9]. Этот объем потребления воды требует сокращения.

Современный период развития биосферы характеризуется увеличением миграции не только углерода, но и ряда металлов (табл. 1).

Таблица 1

Ежегодное мировое потребление, резервы и потенциальные ресурсы металлов в тоннах

| Металлы | Cu | Zn | Ti | Cd | Cr | Mn | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Годовое потребление | $9{,}7 \times 10^6$ | $6{,}9 \times 10^6$ | $3{,}8 \times 10^6$ | $2{,}0 \times 10^4$ | $1{,}1 \times 10^7$ | $2{,}2 \times 10^7$ | $1 \times 10^9$ |
| Резервы в рудных запасах | $6{,}0 \times 10^8$ | $1{,}6 \times 10^8$ | $1{,}6 \times 10^8$ | $2{,}2 \times 10^5$ | $7{,}8 \times 10^8$ | $1{,}8 \times 10^9$ | $9{,}3 \times 10^{10}$ |
| Потенциальные источники | $1{,}8 \times 10^9$ | $4{,}0 \times 10^9$ | | - | $6{,}0 \times 10^9$ | $1{,}1 \times 10^9$ | $1{,}4 \times 10^{11}$ |
| Поток с живым веществом | $2{,}9 \times 10^6$ | $1{,}4 \times 10^7$ | $9{,}4 \times 10^6$ | $1{,}4 \times 10^3$ | $5 \times 10^5$ | $6{,}9 \times 10^7$ | $5{,}8 \times 10^7$ |

Сравнение потребляемых и резервных масс металлов, а также количества металлов, вовлекаемых в биогенную миграцию, отражает интенсивность техногенной миграции тяжелых металлов. Она остается весьма высокой как для железа, так и других металлов (хром, марганец, серебро, кадмий, платина, золото) [6, 7].

Следует отметить, что формирование техногенных биогеохимических аномалий свидетельствуют в ряде случаев об интенсивном вовлечении железа в локальные биогеохимические

циклы (рис. 2). По-видимому, это является реальным отражением эпохи «железа». Если мы сравним данные по распределению концентраций железа в травянистых растениях за 40-60-е годы и за последние 15-20 лет, то становится очевидным различный характер частоты встречаемости определенных концентраций металла в травянистых растениях и кормах (сено). Тип распределения меняется от бимодального (30-40 гг.) через асимметричный (50-60 гг.) к нормальному (80-90 гг.). Подобное явление характерно также для кальция и железа [6].

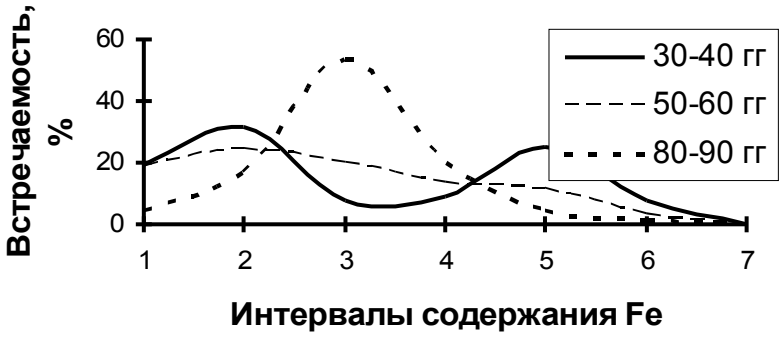


Рис. 2. Частота встречаемости концентраций железа в травянистых растениях и кормах России. Концентрации железа (в мг/кг сухого вещества): 1 – 5-50, 2 - >50-100, 3 - >100-250, 4 - >250-500, 5 - >500-1000, 6 - >1000-5000, 7 - >5000.

**Техногенез и биологические реакции**

Рассматривая влияние продуктов техногенеза на организмы, следует иметь в виду существование в организмах и биосфере детоксицирующих систем. Они следующие:

- комплекс оксидаз смешанных функций (микросомальное окисление), осуществляющих гидроксилирование ароматических соединений (пестициды, лекарства);
- глутатион и металлотионеины, блокирующие и переносящие ионы металлов;
- гуминовые кислоты, аминокислоты и глинистые минералы (почвы).

Преобразование среды, приводит к обеднению флористического и фаунистического состава биогеоценозов, исчезновению видов и нарушению видового состава, снижению биоразнообразия. По данным наблюдений 1958 и 1993 гг. типичный флористический состав луговых сообществ окрестностей Орехово-Зуево заметно отличался. В 1993 г. по сравнению с 1958 г. в луговых ландшафтах не встречались: белоус торчащий *Nardus stricta* L., вейник наземный *Calamagrostis epigeios* L. , овсяница красная *Festuca rubra* L., трясунка средняя *Briza media* L., манжетка пастушья *Alchemilla pastoralis* L., герань луговая *Geranium pratense* L., живучка ползучая *Ajuga reptans* L., вероника дубравная *Veronica chamaedrys* L., щавель конский *Rumex confertus* Willd, люцерна серповидная *Medicago falcata* L., погремок малый *Rhinanthus minor* L., василек луговой *Centaurea jacea* L. и ястребинка дернистая *Hieracium Cespitosum* Dumort. Но появились новые растения - 2 вида клевера (*Trifolium hybridum* L., *T. repens* L.) [4].

В биосфере никогда не прекращаются процессы гибели старых и возникновения новых видов. Трудно представить, чтобы оба эти процесса протекали с одной и той же скоростью. В связи с этим пики массовых вымираний могут возникать как случайные совпадения во времени небольшого снижения скорости формообразования с небольшим повышением скорости вымирания. Исчезновение некоторых видов растений и насекомых сопровождается открытием все новых и новых видов клещей [1].

В последние десятилетия скорость исчезновения видов в среднем в 5 тысяч раз превышает естественный ход эволюции. Средняя продолжительность существования вида составляет около 4 млн. лет, а скорость исчезновения - 4 вида в год. За последние 400 лет вымерло: 384 вида растений (0,15%), 2 вида рыб (0,05%), 21 вид амфибий (0,33%), 113 видов рептилий (0,33%), 113 видов птиц (1,23%), 83 вида млекопитающих [1]. В ряде регионов мира сократилась численность диких животных [11]. Изменилось питание человека. Переход населения на потребление подземных вод (вместо поверхностных речных) отразился на состоянии здоровья человека [6].

Под влиянием токсикантов и различных ксенобиотиков деформируются биоценотические связи. Особенно это касается сообществ микроорганизмов, что обусловливает развитие микотоксикозов. В настоящее время мы недооцениваем роль химического взаимодействия организмов. Известно, что грибы в процессе метаболизма синтезируют продукты обмена, весьма токсичные для млекопитающих и обладающие гормональными и другими функциями.

Немаловажную роль в регуляции численности организмов на планете играют и вирусы. Мутация некоторых из них усиливается при недостатке селена в среде и организмах [6]. По мнению Ю.П. Алтухова, для сдерживания деградации биосферы «необходимо пересмотреть стратегию взаимодействия Человека с Природой, чтобы не разрушалась системная организация популяций, а соотношение внутри- и межпопуляционной наследственной изменчивости удерживалось на оптимальном уровне» [1].

Особую актуальность приобретают проблемы биогеохимической эволюции таксонов биосферы, взаимовлияния макро- и микроэлементов в природно-техногенных циклах, дифференциации природных и техногенных составляющих циклов и зависимости статуса макро- и микроэлементов от техногенного преобразования природных комплексов. Данные вопросы непосредственно связаны с эффективной коррекцией микроэлементозов и оптимальным применением специальных пищевых добавок и микроудобрений в медицине, ветеринарии и растениеводстве.

С точки зрения формирования техногенных биогеохимических провинций заслуживает внимания переход на использование подземных вод как в питании животных и человека, так и в агротехнологиях. Источниками поступления стронция в пищевые цепи являются: подземные воды, которые вымывают стронций из целестиновых руд; фосфорные удобрения, используемые в растениеводстве при производстве кормов, злаковых и пропашных культур; карбонат кальция, образующийся при производстве минеральных удобрений, содержащий до 2% стронция, используемый в растениеводстве для известкования почв; фсфогипс, образующийся как отход при производстве фосфорных удобрений из апатитов и фосфоритов, содержащий около 2% стронция и 1,5% фтора, используемый в растениеводстве для мелиорации солонцовых почв.

Миграция стронция в биогеохимической пищевой цепи слабо изучена. Вопрос геохимической оценки территорий, в том числе и почв сельскохозяйственных предприятий по стронцию при техногенной деятельности человека требует решения.

При крупных природных катастрофах (лавины, сели) в результате перемещения огромных масс вещества, может существенно измениться пространственное распределение тяжелых металлов в ландшафте. Фитобиота, как компонента экосистемы таких ландшафтов, способна быстро поглощать ТМ из среды, являясь важным источником информации при оценке экологического состояния территорий в зонах бедствия [6, 11].

В условиях техногенной эволюции биосферы исключительно актуально всестороннее изучение особо опасных биогеохимических эндемий, вызываемых дефицитом или избытком химических элементов в среде, рационах и организме животных и человека. Наиболее известны флюороз, уровская болезнь, эндемический зоб. Их происхождение связано с генетической основой организмов и особенностями локальных биогеохимических циклов элементов. Последние определяются процессами выветривания, трансформации вещества и влиянием антропогенных факторов. Наиболее характерно это для некоторых микроэлементов, включая селен, йод, медь и др.

В результате техногенеза биосферы, связанного с высокой технофильностью некоторых химических элементов и другими антропогенными факторами, резко меняются локальные циклы ряда элементов с существенным преобразованием живого вещества. Так, в природно-техногенных биогеохимических провинциях с избытком металлов, фтора и мышьяка у млекопитающих наблюдается нарушение синтеза гема, гемопоэза, кальциево-фосфорного обмена, блокирование тиогрупп функциональных белков, оксидаз смешанных функций, снижение резистентности. При этом прослеживается четкая взаимосвязь между циклами макро- и микроэлементов, влиянием антропогенных факторов. Поэтому концепция биогеохимических провинций в настоящее время востребована и развивается [6, 7].

Наиболее опасны следующие биогеохимические провинции: с избытком – фтор, ртуть, кадмий, медь, мышьяк, радионуклиды, высоко токсичные и персистентные пестициды; с недостатком – селен, йод, кобальт и другие. При этом существенную роль играет взаимодействие между макро- и микроэлементами: Ca-P, Ca-Sr, Ca-Cd, Cu-Mo, Mo-S, Mo-W, Se-J и др.

## Заключение

Таким образом, загрязнение окружающей среды является сложной биогеохимической проблемой. Техногенные биогеохимические провинции можно классифицировать по химической структуре поллютантов, по источникам загрязнения, типу производства, механизмам воздействия на организмы, параметрах миграции и особенностям трансформации.

Приведенные материалы отражают техногенное развитие биосферы как один из этапов ее естественной эволюции. Современная стадия развития биосферы является стадией адаптации и

перехода в ноосферу. Использование огромных масс химических элементов, обусловленное техногенезом, пока не сказывается на глобальных циклах химических элементов, поддерживающих целостность биосферы. Но в будущем ряд техногенных процессов может оказать заметное влияние на миграцию элементов в биосфере (блокирование атмосферного азота, окисление серы и углерода, повышение кислотности природных вод, повышение радиационного фона биосферы), способствуя образованию техногенных аномалий в результате изменения биогеохимических циклов химических элементов.

В настоящее время загрязнение как основной фактор техногенеза контролируется недостаточно и связан с нарушением локальных и региональных биогеохимических циклов химических элементов и проявлением непредсказуемых реакций организмов, отражающихся на обеднении биоразнообразия.

**Литература**

1. *Алтухов Ю.П.* Природоохранная генетика // Экология в России на рубеже XXI века (наземные экосистемы). М.: Научный Мир, 1999. С. 9-26.
2. *Вернадский В.И.* Биогеохимические очерки (1922-1932 гг.). М-Л.: изд-во АН СССР, 1940. 250 с.
3. *Войткевич Г.В., Вронский В.А.* Основы учения о биосфере. Ростов-на-Дону: изд-во «Феникс», 1996. 480 с.
4. *Гаранина Н.С.* Биогеохимическая дифференциация луговых сообществ Восточной Мещеры// Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Труды Биогеохим. Лаб. Т. 24). М.: Наука, 2003. С. 238-257.
5. *Горшков В.Г.* Современные глобадьные изменения окружающей среды и возможности их предупреждения// Доклады РАН, 1993. Том 332. № 6. С. 802-806.
6. *Ермаков В.В*. Биогеохимическая эволюция таксонов биосферы в условиях техногенеза // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Труды Биогеохим. Лаб. Т. 24). М.: Наука, 2003. С. 5-22.
7. *Ермаков В.В.* Биогеохимия – фундаментальная основа современных биосферных исследований// Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2006. Том 1, № 2. С. 3-8.
8. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 300 с.
9. *Ковда В.А*. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 265 с.
10. *Ermakov V.V.* Tecnogenesis and Biogeochemical evolution of taxons of the biosphere // Ecologica (Belgrad), 2004. Vol. 11. No. 41. P. 9-12.
11. *Tyutikov S.* Boar and roe deer as biomonotors of ecological state of areas// Ecologica (Belgrad), 2006. Vol. 13. No. 48. P. 13-16.