

УДК 502

Р. Г. Ревазян

Биогеохимическая цикличность химических элементов и проблема устойчивости экосистем

(Представлено академиком НАН Армении В. О. Казаряном 15/III 1998)

В настоящее время много внимания уделяется разработке подходов к стратегии охраны окружающей среды. Теоретическим обоснованием подхода к разрешению этой проблемы мы считаем биогеохимическую концепцию В.И.Вернадского⁽¹⁾, которая имеет целью с возможной точностью определить количественные пределы различных процессов распределения, миграции и обмена химических элементов в экосистемах.

Задачи предвидения экологических последствий антропогенной деятельности выдвигаются на первый план. Они необычайно многообразны и сложны, в особенности в связи с существованием неустойчивых состояний в природной среде. Проблема устойчивости экосистем непосредственно связана с концепцией "устойчивого человеческого развития"⁽²⁾, которая делает эту проблему особенно острой, поскольку потребность в продуктах питания становится все больше и больше.

Для успешного решения задач по оценке устойчивости экосистем большое значение имеет поиск показателя, который являлся бы репрезентативным для реакции экосистемы в целом. Для такой оценки в настоящее время используются биоиндикационные методы, так как именно этот структурный центр – биота определяет связь и единство всей геосистемы⁽³⁾. Однако серьезные трудности возникают в организации получения информации о состоянии биоты, поскольку в целом реакцию биоты на антропогенные изменения экосистемы можно оценить, но невозможно систематически наблюдать за состоянием всех видов растений в ландшафте. При этом биоиндикационные исследования, способствующие решению ряда специфических задач в этой области, не позволяют оценить в целом состояние экосистемы, поскольку они проводятся на уровне вида и связаны с преодолением серьезных методических трудностей⁽⁴⁾.

Вследствие присущей растениям генетической изменчивости различные виды и сорта растений по-разному реагируют на воздействие загрязняющих веществ. Один вид растений может определенным образом реагировать на воздействие только одного загрязняющего вещества. Некоторые виды растений реагируют на воздействие двух и более загрязняющих веществ, другие виды не реагируют вообще или их ответная реакция на воздействие того же вещества очень слаба. Многочисленные исследования позволили установить, что табак очень чувствителен к озону (5). Также показано, что завязывание плодов и урожайность томата значительно уменьшаются при воздействии низких концентраций озона (6). Некоторые растения, особенно лишайники и мхи, известны как накопители тяжелых металлов, которые эти растения могут аккумулировать до уровней, значительно превышающих их концентрацию в окружающей среде (7), т.е. проявляют толерантность.

Сами требования к видам-биоиндикаторам противоречивы. Так, чувствительность и толерантность в принципе несовместимы. Здесь нерешенным остается вопрос количественной оценки состояния всей экосистемы в целом. Именно поэтому существует вполне обоснованное мнение, что создать универсальную систему биоиндикаторов вряд ли возможно.

Проблема поиска критериев, позволяющих оценить и прогнозировать состояние экосистемы в целом, приобретает первостепенное значение. При этом раннее распознавание нарушений является решающим фактором для предотвращения необратимого состояния экосистемы.

В решении этой проблемы одним из эффективных способов может стать биогеохимическая цикличность химических элементов, способная охватить основные компоненты экосистемы и с помощью выборочных проб быстрее оценить суммарные экологические влияния, возникающие в результате наслоения различных воздействий, включая местные, а затем суммирующиеся в определенных участках биогеохимически активных веществ. Исходя из этого нами предпринята попытка использовать биогеохимическую цикличность химических элементов как функциональный критерий устойчивости экосистем. Этот методологический подход позволит, с одной стороны, на более ранней стадии обнаружить изменение тенденции устойчивости экосистем и наиболее полно оценить процессы поступления, выщелачивания и трансформации веществ и энергии в экосистему, с другой, – разработать модель сбалансированности экосистем.

Известно, что экосистемы под влиянием антропогенного стресса, т.е. при нагрузке, теряют стабильность, что приводит к необратимому изменению их состояния – к деградации. Вследствие неправильного ведения хозяйства и нерационального использования ландшафтов в Армении ускорились процессы их деградации. При этом особо остро стоит вопрос улучшения горно-луговых ландшафтов, которые, являясь естественной кормовой базой, превратились в

зону экологического бедствия. Достаточно отметить, что бессистемное использование горных лугов и пастбищ привело к деградации этих ландшафтов, где 40% почв зоны естественных кормовых угодий эродированы, в результате чего за последние 20 лет площадь пастбищ сократилась на 20% (8).

Деградация горно-луговых ландшафтов в результате перегрузки пастбищ носит практически необратимый характер, процесс зарастания и восстановления естественной растительности происходит крайне медленно. В настоящее время в ряде горных массивов экологическое напряжение достигло таких пределов, что экосистемы высокогорных ландшафтов находятся на грани разрушения. В этих условиях скорость естественного восстановления почвенного плодородия значительно меньше, чем потери питательных веществ, что приводит к падению продуктивности лугов, вытеснению ценных в кормовом отношении видов растений, разрушению дернового горизонта и развитию эрозии почв.

В целом антропогенная деятельность вызывает процесс деградации экосистем, подавляющий многие ее функции, в том числе одну из важнейших – биогеохимическую цикличность химических элементов. Анализ круговорота химических элементов на горных лугах выявил нескомпенсированность биогенных их потоков, отчуждаемых за пределы экосистемы и повторно поступающих в почву (табл.1). Так, емкость потока макроэлементов (N, P, K), удаляемого с органической массой трав за пределы экосистемы, значительно превышает запасы элементов в потоке органической массы, остающейся в пределах экосистемы. Это может явиться причиной возникновения определенного дефицита важнейших питательных элементов в почвах особенно на фоне большой емкости потока указанных элементов.

На горных лугах в структуре баланса суммарных запасов макро- и микроэлементов с переходом от альпийского пояса к лугостепному увеличивается доля отчуждаемых элементов и снижается емкость потока элементов, повторно поступающих в почву.

Почвы горных лугов, несмотря на высокое содержание органического вещества и валового азота и других важнейших питательных веществ, очень бедны их подвижными соединениями, что лимитирует уровень их продуктивности.

Данные, приведенные в табл.2, указывают на некоторые перемещения элементов в рядах их содержаний в лизиметрических фильтратах почв. Так, марганец в фильтратах в ряду элементов переместился на второе место, в почве же он находился на третьем месте; бор с последнего места в почве переместился на пятое место в фильтратах. Это указывает на сравнительно большую подвижность бора и марганца в почвах.

Таблица 1

Емкость потока химических элементов на горных лугах

Структура баланса	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe	Mn	Ti	Ni	Cu	Pb	B	Mo	Емкость потока элементов	
	кг/га			г/га								макро, кг/га	микро, г/га
Альпийская зона													
Отчуждаемая фитомасса (сено)	12,9	3,8	13,7	129,0	45,6	20,5	2,3	6,1	2,1	17,5	0,5	30,4	223,6
Возвращаемая фитомасса (стерня+опад)	7,0	2,6	9,0	109,0	38,0	17,0	1,9	5,1	1,7	14,7	0,4	18,6	187,8
Лугостепная зона													
Отчуждаемая фитомасса (сено)	25,6	9,3	27,5	915,0	1007,0	137,0	49,4	82,4	3,1	146,0	5,5	62,4	2345,4
Возвращаемая фитомасса (стерня+опад)	10,6	2,4	11,4	440,0	484,0	66,0	23,8	39,6	1,5	70,0	2,6	24,4	1126,5

Таблица 2

Ряды содержаний элементов в инфильтрационных водах, почвах и по кларкам литосферы на горных лугах

Почва	Форма содержания	Ряды элементов
Лугово-бурая	В лизиметрических фильтрах	Fe>Mn>Ti>Pb>B>>Cu>Ni
	Валовое содержание	Fe>Ti>Mn>>Ni>>Cu>B
	По кларкам литосферы	Fe>Ti>Mn>Ni>B>>Cu>Pb

Анализ агрогеохимического баланса веществ показал (табл.3), что дисбаланс NH_4^+ , NO_2^- , HPO_4^{2-} и K^+ является результатом антропогенного влияния. Приводимые балансовые величины имеют достаточно широкий диапазон значений, обусловленный как антропогенным фактором, так и биоклиматическими поясами.

Агрогеохимический баланс позволяет выявить наиболее уязвимые звенья в экологической цепи атмосферные осадки-почва-растение-инфильтрационные воды, ликвидация которых обеспечит выход на оптимальный путь развития с учетом рационального использования природных ресурсов.

Таблица 3

Агрогеохимический баланс веществ на лугово-бурых почвах, мг/л

Структура баланса	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	HPO_4^{2-}	K^+	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-
Поступает с атмосферными осадками	8,2	1,8	4,2	0,4	11,0	75,8	55,5	20,0	26,3
Выносятся инфильтрационными водами	0,2	0,6	22,0	0,3	9,0	134,0	84,0	31,0	42,0
Баланс	8,0	1,2	-17,8	0,1	2,0	-58,2	-28,5	-11,0	-15,7

Результаты исследований показывают, что со временем будет получен хороший метод для диагностики, однако многое еще предстоит сделать в плане организации мониторинга, основанного на комплексном подходе – изучении биогеохимического потока и баланса элементов, ответных реакций растений и других факторов окружающей среды (тип почвы, содержание в ней подвижных форм элементов, относительная влажность и др.).

Таким образом, выявленные нами закономерности по емкости потоков химических элементов и балансовые расчеты на горных лугах позволяют на ранней стадии их деградации дать оценку нарушениям агрогеохимического баланса. Это в свою очередь даст возможность разработать мероприятия по оптимизации баланса и экосистемы в целом.

Установление сбалансирования биогеохимического потока элементов будет иметь важное значение как для предотвращения деградации экосистем, так и повышения первичной биологической продуктивности. Поэтому с целью формирования прогностических оценок необходимо прежде всего выявить состояние биогеохимической цикличности химических элементов в экосистеме с тем, чтобы установить ежегодные потери химических элементов и найти пути по управлению потоками химических элементов.

Лаборатория биогеохимии Центра эколого-ноосферных исследований НАН Армении

Ռ. Հ. ՌԵՎԱԶՅԱՆ

Քիմիական տարրերի կենսաերկրաքիմիական
ցիկլայնությունը և էկոհամակարգերի կայունության պրոբլեմը

էկոհամակարգերի վիճակի կանխագուշակման չափանիշների որոշման պրոբլեմը ներկայումս ձեռք է բերում առաջնակարգ նշանակություն, ընդ որում խախտումների վաղ բացահայտումը որոշիչ գործոն է հանդիսանում կանխարգելելու համար էկոհամակարգի անշրջելի վիճակը:

Այդ պրոբլեմի լուծման համար էֆեկտիվ եղանակ կարող է հանդիսանալ քիմիական տարրերի կենսաերկրաքիմիական ցիկլայնությունը, որն ընդունակ է ընդգրկել էկոհամակարգերի հիմնական բաղադրիչները և առավել արագ գնահատել գումարային էկոլոգիա-

կան ազդեցությունները՝ կապված մի շարք ազդակների միաժամանակյա ներգործության հետ:

Այս հետազոտությունները թույլ են տալիս, մի կողմից, ավելի վաղ շրջանում հայտնաբերել էկոհամակարգերի կայունության միտման փոփոխությունը և առավել ամբողջական գնահատական տալ էկոհամակարգում նյութերի մուտքի, լվացման և տրանսֆորմացիայի պրոցեսներին, իսկ մյուս կողմից, մշակել էկոհամակարգերի հավասարակշռվածության մոդել:

ЛИТЕРАТУРА – ՓՐԱՎԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ *В.И.Вернадский*, Биосфера, М., 1967. ² *Л.А.Валесян*, Устойчивое человеческое развитие и Армения. Матер. I науч. конф., Ереван, с.7-13, 1997. ³ *Р.Шуберт*, Биоиндикация загрязнений наземных экосистем, М., Мир, 1988. ⁴ *W.W.Heck, J.A.Dunning, I.J.Hindawi*, Science, v.151, p.8-577 (1966). ⁵ *W.A.Feder*, In: Proceedings of the 100th Anniv. Cottrell Symposium, Calif. State Univ., Stanislaus., Perona, M. (ed.), 1977. ⁶ *I.M.Brodo*, Biologist, N.Y., v.69, p.49-422 (1966). ⁷ *Г.Б.Бабаян, Р.Г.Ревазян*, Тез. докл. всесоюз. конф. по экологическим проблемам формирования высокопродуктивных агроценозов. Пушино, с.62-63, 1988.