



УДК 581.524.32

Изучение климатогенной динамики растительного покрова: предпосылки, подходы, перспективы

О. А. Аненхонов

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ
E-mail: anen@uandex.ru

Аннотация. Выполнен краткий обзор современной ситуации в исследованиях климатогенной динамики растительного покрова. Отмечена сравнительно низкая публикационная активность по данной проблематике в российской научной прессе, по сравнению с зарубежной. Указаны предпосылки изучения климатогенной динамики растительности, рассмотрены методологические проблемы выбора и реализации подходов к исследованиям в этом направлении. Особо подчеркнута крайняя сложность этих проблем. Признано адекватным использование аппарата теории нечетких множеств. Предложено ввести в науку о растительности понятие «гистерезис». Обращено внимание на наличие как видимых, так и скрытых изменений в растительном покрове, связанных с динамикой климата.

Ключевые слова: потепление климата, динамика растительности, нечёткие множества, гистерезис, актуализм, видимые и скрытые изменения.

Факт наличия потепления климата в глобальном масштабе, декларировавшийся на основе многочисленных региональных и транс-континентальных исследований, в последнее время нашёл подтверждение благодаря специальному исследованию, проведённому в планетарном масштабе на основе более 14,5 млн ежемесячных данных [23]. Более того, в климатологических работах начата принципиальная перестановка акцентов с вопроса «что может произойти?» (при потеплении климата на более чем 2 °С. – О. А.), на вопрос – «когда это может случиться?» [24]. Следует отметить, что наличие довольно стабильной тенденции к росту температур в последние десятилетия в большинстве районов земного шара еще с 1980-х гг. стало привлекать внимание исследователей эколого-географической направленности. Уже тогда стали появляться работы прогностического плана, базирующиеся на данных о потеплении климата [например, 11]. К настоящему же времени проблема реакции биоты на текущее потепление климата, наряду с обратными связями «биота – климат», находится в фокусе внимания мировой биологии и экологии [27; и др.]. Этой проблеме большое внимание уделяется и в науке о растительности. Количество статей, освещающих разнообразные аспекты динамики растительности, фитогеографии, экологии популяций растений в связи с динамикой климата, уже весьма велико, но пре-

имущественно они опубликованы в зарубежных журналах. В отечественной литературе относительно число работ пока еще значительно ниже, при этом их спектр лежит преимущественно в эколого-географической и дендрохронологической сфере [7; 13; 16; 18; 20 и др.], здесь даже выполнены крупные обобщения [11 и др.]. Работы о последствиях изменений климата для биоразнообразия в России единичны [15]. Это в полной мере относится и к климатогенным последствиям для фито-разнообразия, демографического состояния популяций растений, альфа- и бета-разнообразия, пространственной внутри- и межценотической структуры растительности. Работы в этом направлении крайне малочисленны [3; 6; 9 и некоторые др.]. Интенсификация потока публикаций в мировой литературе в наиболее общем виде проявляется в двух аспектах: 1) изложение результатов исследований компонентов экосистем (или растительного покрова) в условиях меняющегося климата; 2) анализ и совершенствование методологии исследований климатогенной динамики растительного покрова.

В настоящей работе предпринята попытка рассмотреть некоторые методологические аспекты проблемы динамики растительного покрова, индуцируемой текущими изменениями климата. В первую очередь определим, каковы предпосылки данной проблемы:

1. Изменения климата происходят и будут происходить во всём обозримом будущем (варьировать могут векторы изменений, элементы климата, характер и параметры изменений).

2. Экосистемы (и в частности, растительный покров) не могут не реагировать на биотически значимые изменения климата, как на существенные однократные или эпизодические осцилляции, так и на устойчивые долговременные тренды.

3. Для экосистем не важно происхождение изменений климата (в частности, величина антропогенного вклада в текущий ход изменений климата), они реагируют на само изменение, а не на его причину.

4. Растительный покров обладает свойством гистерезиса, что необходимо учитывать при оценке его климатогенной динамики.

Эти предпосылки носят характер аксиом (пп. 1–2), либо постулатов (пп. 3–4). Вкратце отметим лишь п. 4, поскольку он предполагает использование нового для науки о растительности понятия «гистерезис», которое недавно было предложено ввести в экологию как «явление возврата экосистем в начальное состояние динамического равновесия при запаздывании реакции экосистемы на внешнее воздействие от самого воздействия» [14, с. 814]. Для подобных явлений также были предложены понятия «буферность», подразумевавшее «запаздывание отклика растительности на изменения факторов среды» [1, с. 3], «resistance» [25], «сопротивляемость» [19], «устойчивость» [8; 17]. Рассмотрение взаимоотношений между указанными терминами не входит в задачи настоящей статьи.

Исходя из публикуемых работ, подходы к изучению климатогенной динамики растительности в генерализованном виде можно представить следующим образом:

1. Прямые долговременные наблюдения за состоянием компонентов растительного покрова, акцентированные на его отклик на изменения климата;

2. Косвенные оценки вероятной динамики растительного покрова и его будущих состояний:

а) моделирование вероятных изменений в растительном покрове, сопряжённое с теми или иными сценариями климатических изменений;

б) экстраполяция данных палеогеографии на будущее состояние растительного покрова при относительном сходстве прошлых и прогнозируемых климатических условий;

в) интерпретация пространственно-экологических рядов растительных сообществ

в качестве темпоральных; интерпретация компонентов иных пространственных структур растительности, а также сукцессионно связанных типов, в качестве возможных экологических аналогов (предикторов) будущих состояний растительного покрова.

Несомненно, что наиболее точные результаты связи динамики растительности и изменений климатических факторов можно получить лишь при прямых наблюдениях. Но, необходимо осознавать, что эти результаты отражают только уже фактически свершившиеся явления. При использовании их в прогностическом плане они приобретают косвенный характер и «перетекают» в область интерпретаций (п. 2, в). К сожалению, долговременные ряды наблюдений сравнительно немногочисленны, хотя их значение неоднократно особо подчёркивалось [21; 26 и др.].

Что касается косвенных оценок климатогенной динамики растительности, то следует отметить, что в самом общем виде выявление ее будущих состояний на основе любых подходов имеет лишь вероятностный характер. Более того, имманентным свойством самой растительности является сочетание в ней континуальности и дискретности, что наиболее адекватно можно охарактеризовать с применением понятийного и методического аппарата теории нечётких множеств (fuzzy sets) [2]. Возможность использования данной теории для изучения растительности в связи с нелинейностью отклика видов растений на факторы среды была подчёркнута и апробирована R. L. Воусе [22]. Вероятностное моделирование будущих состояний экосистем с использованием методов теории нечётких множеств выполнено и российскими исследователями [12]. Еще одним моментом, важным для понимания сути результатов косвенных оценок, является то, что все они, по существу, опираются на принцип актуализма. Но возможность использования принципа актуализма для интерпретации пространственных рядов в качестве временных не абсолютна, поскольку сама такая интерпретация имеет некоторые ограничения [4]. Это касается не только пространственных рядов, но и других подходов, базирующихся на косвенных оценках.

Вышеуказанные подходы во многом остаются неясными, особенно с позиций достоверности получаемых результатов и возможностей их верификации. Крайне высокая сложность организации растительного покрова, значительная степень его стохастичности, множест-

венность путей его динамики, разнокачественность и различная интенсивность связей с многочисленными факторами среды и компонентов между собой, определяют чрезвычайно большие проблемы выбора существующих, либо разработки новых методов исследований климатогенной динамики растительности.

Кроме того, отметим, что климатические воздействия на растительность необходимо подразделять на прямые и косвенные. Среди прямых наиболее существенны (и часто взаимосвязаны): температура; осадки и увлажнение; инсоляция; ветровой режим (для каждого из этих факторов важны вектор и интенсивность изменений, режим). Косвенные факторы включают изменение состояния других компонентов экосистем, влияющих на растительность, в частности – животного мира; пожарного режима; гидрологического режима водоёмов и водотоков; и др. Выявление того, какой из факторов является ведущим в климатогенной динамике растительности, имеет значение для определения возможных мероприятий, минимизирующих социально-экономический ущерб. На планетарном уровне самым известным из таких является принятие Киотского протокола для снижения эмиссии парниковых газов, рост содержания которых является драйвером антропогенного вклада в глобальное потепление. На региональном и локальном уровне возможности регулирования ограничиваются воздействием на косвенные факторы. Опосредо-

ванность взаимосвязей, при этом, серьезно осложняет и выявление действующих факторов, и разработку мероприятий для минимизации ущерба.

Еще одной причиной высокого уровня сложности проблем изучения климатогенной динамики растительности является разнокачественность изменений, протекающих в растительном покрове. В частности, по нашему мнению, можно различать такие категории климатогенных изменений как видимые и «скрытые» [5]. Такое различие заставляет обратить внимание на то, что в экосистемах имеют место не только наглядные последствия изменений климата, а значит, позволяет рассматривать динамическую ситуацию более объективно. Несомненно, что подразделение изменений на видимые и «скрытые» довольно условное, поскольку между ними нет чётких границ. Более того, часть видимых изменений представляет собой результат развития и усугубления «скрытых». В качестве примера приведём схему климатогенных изменений экосистем Забайкалья (рис.).

Исходя из вышеуказанных предпосылок и обобщённых подходов к изучению климатогенной динамики растительности, можно отметить перспективы таких исследований. В практике научно-исследовательской деятельности, в первую очередь, крайне важно развивать долговременные мониторинговые работы.

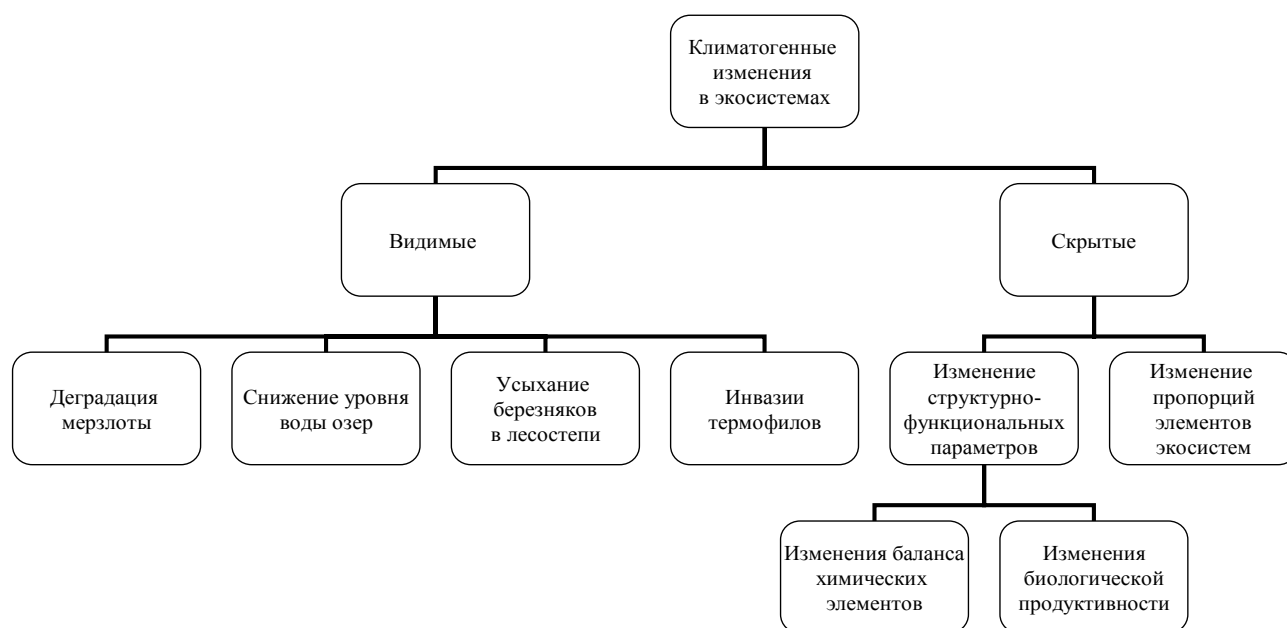


Рис. Структурная схема климатогенных изменений в экосистемах Забайкалья

В теоретическом отношении представляется полезным развитие понятийного аппарата и построение концептуальных моделей климато-генной динамики растительности. В методологическом плане необходимо установить возможности использования обширных массивов результатов однократных исследований, накопленных наукой о растительности, для оценки текущих и прогноза будущих климатогенных изменений растительного покрова. Большое значение имеет оценка существующего методического аппарата и разработка новых методов, приемлемых для изучения сложнейших процессов, протекающих в растительности под воздействием изменений климата.

Очевидно, что в российской науке о растительности исследования климатогенной динамики необходимо значительно и расширять, и углублять. Это предопределяется тем, что в будущем, вопрос о том – какой типологической и пространственной структуры растительного покрова нам следует ожидать при тех или иных сценариях динамики климата, несомненно, будет осознаваться с социально-экономической точки зрения и, соответственно, будет напрямую ставиться перед научным сообществом. В результате, необходимость вероятностных прогнозов в условиях наличия климатических трендов – какие модели использования растительного покрова, экосистем, ландшафтов следует развивать в практической хозяйственной и природоохранной деятельности, какие потери и «дивиденды» следует предполагать, будет очевидной.

Обзор имеющейся литературы показывает, что на современном этапе идёт, прежде всего, накопление фактических данных и говорить о формировании парадигмы в рамках данного направления науки пока ещё преждевременно. По нашему мнению, недостаточная разработанность базовых концепций, рабочих гипотез, методологии и методических приёмов служит серьёзным основанием для активизации исследований в рамках биологии климатических изменений.

Литература

1. Аненхонов О. А. Фитосозологические аспекты «буферности» растительности при долгосрочных климатогенных сукцессиях / О. А. Аненхонов // Проблемы сохранения разнообразия растительного покрова Внутренней Азии : материалы Всерос. науч. конф. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – Ч. 2. – С. 3–5.
2. Аненхонов О. А. Элементы и категории растительного покрова как нечёткие множества / О. А. Аненхонов // Биоразнообразии и пространственная организация растительного мира Сибири: методы изучения и охраны : материалы Всерос. конф. – Новосибирск : ЦСБС СО РАН, 2005. – С. 5–6.
3. Аненхонов О. А. Изменения ценофлоры тем-нохвойных лесов Северного Прибайкалья при современном потеплении климата / О. А. Аненхонов // География и природ. ресурсы. – 2009. – № 4. – С. 62–66.
4. Аненхонов О. А. Использование принципа актуализма при оценке климатогенных изменений растительного покрова / О. А. Аненхонов // Проблемы изучения и сохранения растительного мира Евразии : материалы Всерос. конф. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2010. – С. 450–453.
5. Аненхонов О. А. «Следы» изменений климата в экосистемах Забайкалья / О. А. Аненхонов // Разнообразии почв и биоты Северной и Центральной Азии : материалы Междунар. конф. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2011. – Т. 3. – С. 98–100.
6. Аненхонов О. А. Тенденции изменения флористического состава лесной растительности Северного Прибайкалья при потеплении климата / О. А. Аненхонов, Л. В. Кривококов // Экология. – 2006. – № 4. – С. 280–286.
7. Голубятников Л. Л. Модельные оценки влияния изменений климата на ареалы зональной растительности равнинных территорий России / Л. Л. Голубятников, Е. А. Денисенко // Изв. РАН. Сер. биол. – 2007. – № 2. – С. 212–228.
8. Изменения в составе, структуре и высотном положении мелколесий на верхнем пределе их произрастания в горах Северного Урала / Д. С. Капра-лов [и др.] // Экология. – 2006. – № 6. – С. 403–409.
9. Ильичев В. Г. Структура обратных связей с запаздыванием и устойчивость экологических систем / В. Г. Ильичев // Журн. общ. биол. – 2009. – № 4. – С. 341–348.
10. Климатическая обусловленность радиального прироста хвойных и лиственных пород деревьев в подзоне средней тайги Центральной Сибири / М. В. Скомаркова [и др.] // География и природ. ресурсы. – 2009. – № 2. – С. 80–85.
11. Кобак К. И. Изменения локализации природных зон при глобальном потеплении / К. И. Кобак, Н. Ю. Кондрашова // Экология. – 1992. – № 3. – С. 9–18.
12. Коломыц Э. Г. Локальные механизмы глобальных изменений природных экосистем / Э. Г. Коломыц. – М. : Наука, 2008. – 427 с.
13. Коломыц Э. Г. Высокогорные экосистемы в условиях предстоящего глобального потепления (прогнозное эмпирико-статистическое моделирование) / Э. Г. Коломыц, Л. С. Шарая // Успехи соврем. биологии. – 2011. – Т. 131, № 6. – С. 587–605.
14. Лиственничники лесотундры и климатические тренды / В. И. Харук [и др.] // Экология – 2006. – № 5. – С. 323–331.
15. Назимова Д. И. Лесорастительные зоны юга Сибири и современное изменение климата / Д. И. На-

- зимова, В. Г. Царегородцев, Н. М. Андреева // География и природ. ресурсы. – 2010. – № 2. – С. 55–63.
16. Никаноров А. М. Об экологическом гистерезисе / А. М. Никаноров, Б. Л. Сухоруков // Докл. Акад. наук. – 2008. – Т. 422, № 6. – С. 811–814.
17. Павлов Д. С. Последствия изменения климата для биоразнообразия и биологических ресурсов России: приоритетные направления исследований / Д. С. Павлов, В. М. Захаров // Успехи соврем. биологии. – 2011. – Т. 131, № 4. – С. 323.
18. Розенберг Г. С. Прогноз изменений биологического круговорота и углеродного баланса в лесных экосистемах при глобальном потеплении / Г. С. Розенберг, Э. Г. Коломыц // Успехи соврем. биологии. – 2007. – Т. 127, № 6. – С. 531–547.
19. Свиричев Ю. М. Устойчивость биологических сообществ / Ю. М. Свиричев, Д. О. Логофет. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
20. Титлянова А. А. Устойчивость травяных экосистем / А. А. Титлянова // Сиб. экол. журн. – 2009. – Т. 16, № 2. – С. 237–243.
21. Boyce R. L. Fuzzy set ordination along an elevation gradient on a mountain in Vermont, USA / R. L. Boyce // J. of Vegetation Science. – 1998. – N 9. – P. 191–200.
22. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100 / O. E. Sala [et al.] // Science, 2000. – Vol. 287. – P. 1770–1774.
23. Global warming ‘confirmed’ // Nature Climate Change. – 2011. – Vol. 1, N 11. – P. 437–438. – doi: 10.1038/nclimate1292. – Publ. online: 06 November 2011.
24. Lewin R. Plant communities resist climatic change / R. Lewin // Science. – 1985. – Vol. 228. – P. 165–166.
25. Long-term studies of vegetation dynamics / M. Rees [et al.] // Science. – 2001. – Vol. 293. – P. 650–655.
26. Projections of when temperature change will exceed 2 °C above pre-industrial levels / M. Joshi [et al.] // Nature Climate Change. – 2011. – Vol. 1, N 10. – P. 407–412. – DOI: 10.1038/nclimate1261. – Publ. online: 23 October 2011.
27. Why do we need permanent plots in the study of long-term vegetation dynamics? / J. P. Bakker [et al.] // J. of Vegetation Science. – 1996. – Vol. 7. – P. 147–156.

Studying climatic-forced vegetation dynamics: prerequisites, approaches and prospects

O. A. Anenkhonov

Institute of General and Experimental Biology SD RAS, Ulan-Ude

Abstract. The current situation in the studies of climatically induced vegetation dynamics is briefly overviewed. The low level of the publication activity in this topic among Russian researches comparing to the international scientific society is emphasized. Prerequisites for the climatogenic vegetation dynamics are noted. Methodological obstacles when approaches for studies have to be chosen and carried out are considered. The fuzzy sets theory has been recognized as applicable for studies of vegetation dynamics. The concept of “hysteresis” is being suggested to be introduced in the vegetation science. Both visible and hidden changes in vegetation forced by the climatic impacts are noticed.

Key words: climate warming, vegetation dynamics, fuzzy sets, hysteresis, the actuality principle, visible and hidden changes.

Аненхонов Олег Арнольдович
Институт общей и экспериментальной биологии
СО РАН
670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
кандидат биологических наук, заведующий
лабораторией флористики и геоботаники
тел. (3012) 43-32-56
E-mail: anen@yandex.ru

Anenkhonov Oleg Arnoldovich
Institute of General and Experimental Biology SB RAS
6 Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047, Russia
Ph. D. in Biology, Head of Laboratory
for Floristics and Geobotany
phone: (3012)433256
E-mail: anen@yandex.ru