

С.П. Жуков

МОДЕЛИРОВАНИЕ СООБЩЕСТВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА

отвалы шахт, моделирование сообществ, сукцессия, колебания численности

Отвалы угольных шахт занимают большие площади в Донбассе и наносят значительный экологический (санитарно-гигиенический) ущерб. Полная их ликвидация или хотя бы полноценная рекультивация основных компонентов экосистем при настоящем экономико-правовом состоянии – дело, видимо, отдаленного будущего. Кроме того, в начале восстановительной сукцессии растительности на отвалах часто встречаются адвентивные, в том числе и карантинные виды, такие как *Iva xanthiifolia* Nutt., *Grindelia squarrosa* (Purch) Dunal, *Xanthium albinum* (Widd.) H.Scholz, *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Stenactis annua* Nees и др. В формирующихся сообществах эти виды могут занимать доминирующее положение. Например, *Ambrosia artemisiifolia* L. часто образует моновидовые группировки с проективным покрытием свыше 80%, приуроченные обычно к вершинам отвалов, откуда семена и аллергенная пыльца могут разноситься на значительные расстояния. Применение же технических методов для борьбы с подобными явлениями на отвалах обычно невозможно или пока экономически нецелесообразно. Поэтому перспективными являются методы биологической рекультивации экотопов отвалов и борьбы с карантинными и аллергенными видами, что возможно на основе изучения и использования закономерностей протекания сукцессии растительного покрова на отвалах шахт с относительно небольшими затратами. В ходе исследований, проведенных ранее, в 1991 – 2004 гг. было выявлено, что первая стадия сукцессии, в течение которой обычно и процветают карантинные виды, может затягиваться на отвалах значительно дольше, чем в зональных естественных условиях [2–4, 6]. Такие длительно существующие сообщества с доминированием однодвулетников были даже охарактеризованы как хронически пионерные. При этом иногда наблюдались повторяющиеся изменения обилия видов со сменой доминирования нескольких видов, например смены *Centaurea diffusa* Lam. и *Echium vulgare* L.. Для управления процессами сукцессии растительности отвалов и его ускорения необходимо изучение причин такого застоя в развитии и появления циклических колебаний численности особей. Привлечения данных только по сукцессии эдафотоп в этом случае недостаточно, так как этим можно объяснить только задержку в развитии, но не колебательные процессы. Поэтому цель настоящего сообщения – смоделировать сообщества на основе изучения конкурентоспособности видов на начальных стадиях сукцессии растительности отвалов угольных шахт. Это проводили в соответствии со специально разработанным для этого методом разделения корреляций [4, 5]. Ранее полученные данные, вероятно, отражают процесс постоянного «прохождения» через фитоценозы отвалов все новых и новых видов, что соответствует гипотезе «конкурентной лотереи» в присутствии свободных участков [1], и может быть использовано при математическом моделировании сукцессии.

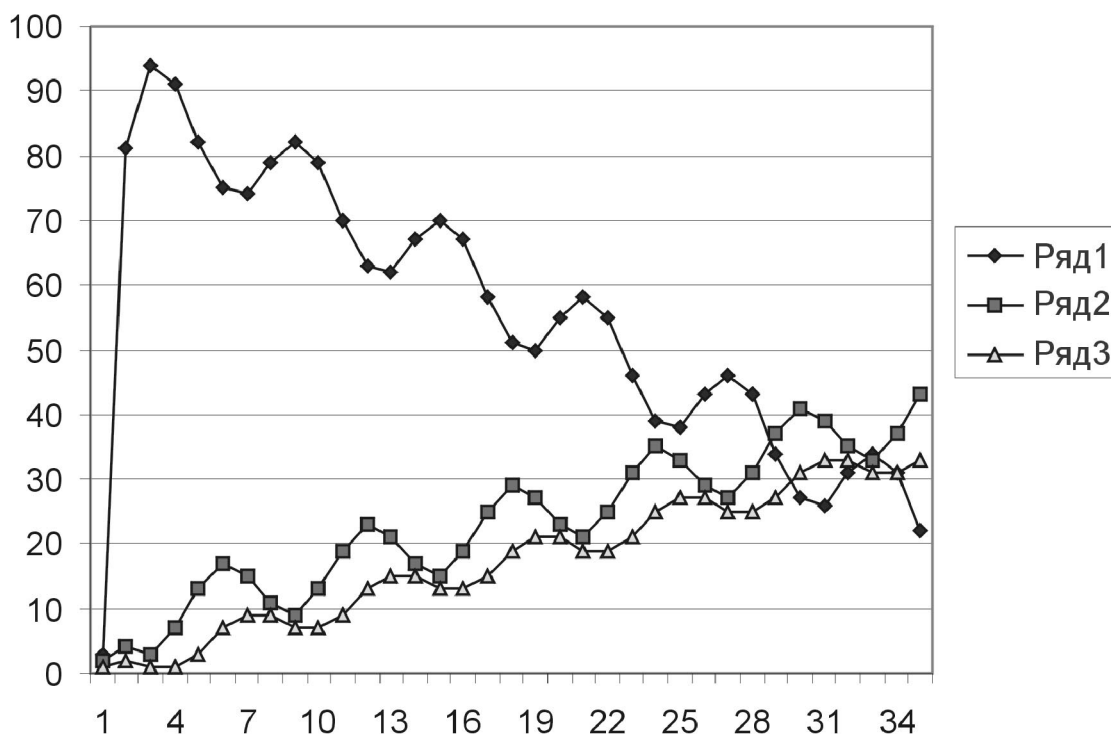


Рис. Динамика численности 3 видов инициальных сообществ в начале сукцессии по результатам моделирования.

По оси абсцисс – годы, по оси ординат – численность видов в процентах от максимально возможной;

Ряд 1 – раннесукцессионный вид, ряды 2 и 3 – поздне-сукцессионные виды.

Математическое моделирование широко использовалось нами ранее при изучении процесса формирования растительного покрова отвалов [2 – 4]. Это и предложенные индексы сходства и фитоценотической значимости, и реконструкция последовательности протекания сукцессии ординационным методом, которая относится к области эмпирико-статистического моделирования [7], позволяющего ответить на вопрос «как?».

При ответе на вопрос «почему?» изученность пространственной и функциональной структуры растительности отвалов и особенностей ее динамики позволяет использовать для изучения формирования растительности отвалов и другие формы математического моделирования. Для этого в данной статье предлагается модель сукцессии с учетом пространственного распределения видов, межвидовых взаимоотношений, динамики состава и пр. Модель представляет собой систему уравнений в конечных разностях, построена на принципах Марковских цепей и не имеет замкнутых решений. Ее можно отнести к моделям аналитического класса, а при расширении количества описываемых видов до реально существующего использовать и для имитационного моделирования. К тому же в некоторых пионерных сообществах отвалов количество видов составляет 3 – 5, что укладывается в рамки разработанной модели. Аналогичным образом протекает сукцессия на многих промышленно опустыненных землях, где изначально задается жесткий экотопический отбор с постепенным изменением условий. Поэтому данную модель можно рассматривать как охватывающую все такие случаи.

В основу модели положена система уравнений, которые описывают изменение числа особей видов в зависимости от количества свободного места, количественного участия каждого вида и межвидовых взаимодействий путем введения соответствующих коэффициентов. Изменение условий экотопа и структуры взаимоотношений в фитоценозах отражается направленным временным дрейфом этих коэффициентов. Межвидовые связи учитываются введением членов, отражающих влияние других видов на возобновление данного вида. Результат вычисления, таким образом, зависит от предшествующего распределения видов и условий экотопа на данном этапе. Поэтому при расчете результатов для какого-то заданного этапа развития требуется выполнение расчета результата для всех предшествующих стадий.

Вид 1 на рисунке представляет собой вид, толерантный к условиям экотопа или первый поселившийся вид и сразу или к моменту появления видов 2 и 3 достигающий высокого обилия. В направлении оси абсцисс происходит смена поколений, сопровождающаяся постепенным изменением условий экотопа, что обычно наблюдается на отвалах при сукцессии эдафотопов после прекращения окисления породы.

При проверке возможности моделирования процесса развития сообщества из нескольких видов двулетников (коэффициенты взяты произвольные), динамика которых описывается этим уравнением, полученные кривые имеют ступенчатый характер (см. рис.), что соответствует наблюдавшимся циклическим колебаниям численности и ранее описанному каскадному эффекту в сукцессии фитоценозов отвалов [2, 3]. Хотя в модель не введены члены, отражающие взаимодействие фитоценоза с экотопом, описанное при формировании каскадного эффекта, появление ступенчатого характера в динамике видов говорит о достаточной силе одних межвидовых взаимодействий для развития каскадного эффекта в процессе формирования сообществ при сохраняющемся или стабильно дрейфующем уровне параметров эдафотопа.

При рассмотрении кривых численности видов 2 и 3 заметен сдвиг пиков обилия этих видов относительно друг друга, то есть даже положительная связь двух видов может приводить к колебательной смене их обилия.

Кроме того, в конце графика наблюдается попеременное доминирование то исходного вида, то видов 2 и 3. При статировании условий экотопа это может привести к длительным колебаниям, как это было отмечено для сообществ отвалов ранее [5]. Таким образом, хотя исследование сукцессии с помощью данной модели находится в начальной стадии, но уже есть основания говорить о ее работоспособности, соответствии моделируемому объекту по этому параметру.

Таким образом, моделирование сукцессионной динамики численности видов системой разностных уравнений позволяет получить периодические колебания численности видов, подобные наблюдавшимся на реальных объектах. Также этим подтверждаются ранее высказанное предположение о каскадном эффекте сукцессии отвалов угольных шахт, что позволяет привлечь данный подход и положения, лежащие в основе составления уравнений, для объяснения процессов межвидовых взаимодействий и прогнозирования результатов сукцессии и последствий определенных вмешательств в нее, то есть появляется возможность некоторого управления ею.

1. *Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К.* Экология. Особи, популяції и сообщества: в 2-х т. Т.2. – 477 с.
2. *Жуков С. П.* Каскадний ефект первинної сукцесії на відвалах вугільних шахт Донбасу // Укр. ботан. журн. – 1999. – **56**, № 1. – С. 5–10.
3. *Жуков С. П.* Про напрям антропогенної сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт Донбасу // Укр. ботан. журн. – 1999. – **56**, № 3. – С. 254–249.
4. *Жуков С.П.* Використання методу розділу кореляцій для вивчення взаємовідносин рослин // Укр. ботан. журн. – 2001. – **58**, № 6. – С. 17–24.
5. *Жуков С.* Динаміка спряженості видів на початку сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт Донбасу // Актуальні проблеми флористики, систематики, екології та збереження фіторізноманіття: Матеріали конф. мол. вчених-ботаніків України (Львів, Івано-Франковск, 6–10 серпня 2002 р.). – Львів: Б.В., 2002. – С. 149–150.
6. *Повх В. Н., Жуков С. П.* О формировании сообществ высших растений на отвалах угольных шахт // Интродукция и акклиматизация растений.– 1995.– Вып. 22.– С. 89–91.
7. *Розенберг Г.С.* Модели в фитоценологии. – М.: Наука, 1984. – 265 с.

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Получено 28.03.2004

УДК 001.57+581.524.3:632.12 (477.62)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СООБЩЕСТВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ СУКЦЕССИИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА

С.П. Жуков

Донецкий ботанический сад НАН Украины

Проведено моделювання маловидових групувань на початкових стадіях первинної сукцесії рослинності отвалів угольних шахт. Модель представляє собою систему рівнянь в кінцевих різницях, коефіцієнти при членах відображають позитивні або негативні взаємодії видів. На моделі отримані періодичні коливання чисельності видів, спостережені на реальних об'єктах. Це можна розцінювати як підтвердження передположень про каскадний ефект сукцесії отвалів угольних шахт, що дозволяє привнести даний підхід і положення, лежачі в основі складання рівнянь, для пояснення процесів розвитку спільнот і прогнозування результатів сукцесії і наслідків певних втручань в неї, тобто з'являється можливість певного управління нею.

UDC 001.57+581.524.3:632.12 (477.62)

MODELING OF PLANT COMMUNITIES IN INITIAL STAGES OF VEGETATION SUCCESSION OF COAL MINE DUMPS IN DONBASS

S.P. Zhukov

The Donetsk Botanical Garden, Nat. Acad. Sci. of Ukraine

Modeling of small-specific groups has been conducted in initial stages of primary succession of vegetation of coal mine dumps. The model represents a system of equations in ultimate differences. Member coefficients reflect positive and negative interactions between plant species. Periodic fluctuations of the species number were obtained on the model. These fluctuations have been observed on real objects as well. This can be regarded as a confirmation of suppositions about cascade effect of coal mine dumps succession enabling to use this approach and propositions, which are the basis of working out the equations, for explaining the processes of plant communities development and for forecasting the results of succession and the consequences of interference into it. Thus, there appears a possibility of a certain control over the succession.