

УДК 574.472(571.17)

Использование индексов биологического разнообразия для характеристики естественных и техногенных территорий

Use of biodiversity indices for characterizing natural and technogenic territories

Стрельникова Т. О.¹, Платонова С. Г.², Скрипко В. В.³

Strelnikova T. O.¹, Platonova S. G.², Skripko V. V.³

¹ Институт экологии человека СО РАН, г. Кемерово, Россия. E-mail: strelnikova21@yandex.ru

² Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия. E-mail: sgplatonova@mail.ru

³ Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия. E-mail: skripko@inbox.ru

¹ Institute of Human Ecology, SB RAS, Kemerovo Russia

² Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul, Russia

³ Altai State University, Barnaul, Russia

Реферат. Статья содержит результаты изучения растительного покрова лесных низкотерриторий Кузнецкого Алатау. Полевые исследования выполнены в 2008–2015 гг. Проведен анализ биологического разнообразия природных и техногенных ландшафтов. Разнообразие экосистем исследуемой территории представлено 22 ландшафтными местностями. Для каждой из них рассчитан индекс редких видов (показатели индекса варьируют от 0 до 14,7). В качестве индикаторов таксономического разнообразия флоры хорошо работают индекс видового богатства, индекс редких видов и доля адвентивных видов.

Summary. The article contains the results of studying the vegetation cover of the forest low mountains of the Kuznetskij Alatau. Field research was carried out in 2008–2015. The analysis of the biological diversity of natural and man-made landscapes is carried out. The diversity of ecosystems in the study area is represented by 22 landscapes. For each of them, the index of rare species is calculated (index values range from 0 to 14.7). As an indicator of the taxonomic diversity of the flora, the index of species richness, the index of rare species and the proportion of alien species work well.

Биологическое разнообразие природной среды, тенденции и факторы его изменения – особо актуальная проблема для регионов с развитой промышленностью. Основным антропогенный фактор, преобразующий структуру природных сообществ Кемеровской области – добыча полезных ископаемых. Особенностью региона является то, что наряду с большими площадями нарушенных угледобычей земель, здесь сохранились редкие и уникальные для Сибири экосистемы. Важным инструментом осуществления мониторинга биологического разнообразия признается использование индикаторов – качественных и количественных характеристик биоты, позволяющих оценивать ее состояние, степень нагрузок на нее со стороны хозяйственной деятельности, проводить сравнительный анализ в пространстве и во времени, выявлять тенденции изменений и принимать адекватные управленческие решения. Основные требования, предъявляемые к индикаторам: простота для понимания, возможность проведения количественных оценок, возможность подбора значимых критериев или пороговых значений, научная обоснованность и статистическая достоверность.

Нами проведена оценка уровня биологического разнообразия Новокузнецкого угледобывающего района, основанная на выявлении таксономического и ландшафтного разнообразия. Материалами послужили видовые списки, составленные по полевым наблюдениям 2008–2015 гг. и литературные данные (Ландшафтная ..., 1991; Артемов и др., 2009; Стрельникова, 2013). В качестве методической основы взяты рекомендации, выполненные для Алтае-Саянского экорегиона (Яшина, 2011). В Новокузнецком угледобывающем районе выбраны и опробованы следующие индикаторы, характеризующие таксономическое разнообразие флоры: видовое богатство; индекс концентрации видового богатства;

количество редких видов; индекс редких видов (ИРВ); уровень эндемизма; число чужеродных видов (адвентов); доля адвентивных видов. В качестве показателя разнообразия экосистем выбран показатель количество ландшафтных выделов; на субрегиональном уровне (в нашем случае Новокузнецкий муниципальный район) основной структурной единицей накопления информации для последующего целевого (в частности, экологического) использования выступает ландшафтная местность. Для сравнения естественных и техногенных территорий использовали индексы флористического разнообразия. Протестирована серия, включающая 375 геоботанических описаний, выполненных в горно-лесной подзоне Новокузнецкого района. Далее была сделана выборка по трем участкам, локализованным в лесных низкогорьях Кузнецкого Алатау; каждая группа описаний включает три варианта: естественные лесные ценозы, участки рекультивации; участки самозарастания на отвалах. Накопление и обработку данных производили в программах IBIS (Зверев, 2007) и Microsoft Excel.

Разнообразие экосистем Новокузнецкого района представлено 22 ландшафтными местностями в пределах трех провинций – Кузнецко-Алатауской, Салаирской и Кузнецкой межгорно-котловинной. Наиболее распространенными по площади (46 % от площади района) являются лесные ландшафты низкогорий (с абсолютными отметками 300–600 м), и долинные ландшафты крупных и малых рек (29,1 %). Уникальными не только для исследуемой территории, но и для всей Сибири являются пихтовые с примесью липы (1,3 %) и чистые липовые леса (0,5 %), расположенные в Кузнецком Алатау на высотах 500–700 м. Редкими в пределах муниципального района – степные ландшафты Кузнецкой межгорно-котловинной провинции (1,0 %). Для каждой из 22 ландшафтных местностей рассчитан ИРВ (показатель учитывает количество и категорию статуса в региональной Красной книге). Значения ИРВ флоры исследуемой территории варьируют от 0 до 14,7. Низкие ИРВ (от 0 до 0,5) в ландшафтах расчлененных водоразделов и склонов пологих и средней крутизны, а так же долин мелких рек и ручьев Кузнецкой межгорно-котловинной провинции; максимально высокие ИРВ (8,2–14,7) в лесных ландшафтах низкогорий Кузнецко-Алатауской провинции. ИРВ и серия специальных карт были использованы для выделения экологически уязвимых территорий (участков, расположенных в зонах воздействия угледобывающих предприятий, которым угрожает опасность уничтожения или деградации ландшафтов) и центров концентрации видового разнообразия. При этом в среде ArcGIS проводилось совмещение отдельных слоев ГИС-проекта – картосхемы экологической уязвимости ландшафтов с рассчитанными для них ИРВ (Платонова и др., 2017; Стрельникова и др., 2017).

В низкогорьях Кузнецкого Алатау проведен анализ флористического разнообразия на старовозрастных (30 и более лет) отвалах Красногорского, Сибиргинского, Калтанского угольных разрезов и прилегающих к ним условно не нарушенных лесных территориях. На отвалах сформировались лесные ценозы: сосновые (*Pinus sylvestris* L.), с примесью березы (*Betula pendula* Roth), кедра (*Pinus sibirica* Du Tour), пихты (*Abies sibirica* Ledeb.) на полях рекультивации; ивово-березовые (*Betula pendula*, *Salix caprea* L., *S. cinerea* L., *S. dasyclados* Wimm.) на участках самозарастания. Не нарушенные горными работами территории покрыты черневой тайгой (*Abies sibirica*, *Betula pendula*, *Populus tremula* L.). На примере отвалов Калтанского разреза (Осинниковское поле) и лесных участков «Липового острова», расположенных в окрестностях п. Кузедеево (табл. 1) хорошо видны различия сравниваемых параметров флористического разнообразия. На отвалах размещение растений по территории крайне неравномерное, плотность и выравненность проб по этому параметру, часто лучше, чем индекс видового богатства, характеризуют различие естественных и нарушенных местообитаний. Нарушенные участки могут иметь общий уровень богатства выше естественных, за счет случайных (редко встречающихся видов) или внедрения сорных (в том числе адвентивных) растений. Наличие редких и адвентивных видов в пробе достаточно хорошие маркеры степени нарушенности территории. Чернево-таежные леса Кузедеевского лесничества отличаются высоким уровнем видового богатства. Хорошо видно на примере представленной пары «Липовый остров» – Калтанский разрез, что практически одинаковые по площади участки различаются почти в 2 раза по индексу концентрации видового богатства. Индекс редких видов на нарушенных территориях равен нулю или очень низкий; малая площадь значительно снижает чувствительность этого индекса (это касается небольших выборок). Участки естественных лесов характеризуются низким количеством адвентивных видов. Дальнейшее сравнение выполнено по выборке, включающей 167 описаний (табл. 2–3). Основные сравниваемые параметры выборки, в целом по-

Таблица 1

Флористическое разнообразие природных и техногенных территорий (на основе генеральной совокупности данных пары «Липовый остров» – Калтанский разрез)

| Сравниваемые параметры | Липовый остров (Кузедеево) | Калтанский разрез (Осинники) |
|---|----------------------------|------------------------------|
| Количество описаний, абс. | 61 | 54 |
| Общая площадь описаний, га | 2,4 | 2,2 |
| Средняя плотность, число видов в описании | 31,7 ± 0,45 | 19,9 ± 0,76 |
| Видовое богатство, абс. | 361 | 196 |
| Индекс концентрации видового богатства | 82,3 | 45,2 |
| Число редких видов, абс. | 13 | 1 |
| Индекс редких видов | 6,3 | 0,3 |
| Число адвентов, абс. | 11 | 17 |
| Доля адвентивных видов, % | 3,0 | 8,7 |

Таблица 2

Флористическое разнообразие природных и техногенных (на основе выборки по вариантам)

| Название участка | Красногорский | | | Сибиргинский | | | Осинниковский | | |
|--|---------------|------|------|--------------|------|------|---------------|------|------|
| | Ке | Кр | Кс | Се | Ср | Сс | Ле | Ор | Ос |
| Вариант | | | | | | | | | |
| Количество описаний | 17 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 | 20 |
| Видовое богатство, абс. | 118 | 143 | 164 | 166 | 127 | 153 | 140 | 107 | 124 |
| Индекс концентрации видового богатства | 30,8 | 36,6 | 42,0 | 42,5 | 32,5 | 39,2 | 35,9 | 29,7 | 31,8 |
| Число редких видов, абс. | 2 | 4 | 3 | 5 | 2 | 2 | 8 | 1 | 0 |
| Индекс редких видов | 0,7 | 1,3 | 1 | 1,8 | 1,3 | 1,3 | 2,3 | 0,3 | 0 |
| Число эндемиков | 3 | 3 | 2 | 5 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 |
| Уровень эндемизма, % | 2,5 | 2,1 | 1,2 | 3,0 | 0,8 | 1,3 | 2,1 | 0,9 | 1,6 |
| Число адвентов, абс. | 2 | 11 | 12 | 3 | 17 | 17 | 1 | 12 | 14 |
| Доля адвентивных видов, % | 1,7 | 7,7 | 7,3 | 1,8 | 13,4 | 11,1 | 0,7 | 11,2 | 11,3 |

Таблица 3

Индексы инвентаризационного разнообразия (на основе выборки по вариантам)

| Название участка | Красногорский | | | Сибиргинский | | | Осинниковский | | |
|-------------------------------------|---------------|-----|-----|--------------|-----|-----|---------------|-----|-----|
| | Ке | Кр | Кс | Се | Ср | Сс | Ле | Ор | Ос |
| Вариант | | | | | | | | | |
| Индекс разнообразия Макинтоша | 4,0 | 3,9 | 3,2 | 3,6 | 3,0 | 2,9 | 4,3 | 3,8 | 2,8 |
| Индекс разнообразия Шеннона-Уивера | 6,4 | 6,5 | 6,8 | 6,9 | 6,4 | 6,7 | 6,5 | 6,4 | 6,5 |
| Индекс разнообразия Симпсона (x 10) | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Индекс разнообразия Реньи-Рао | 6,1 | 6,1 | 6,3 | 6,5 | 6,1 | 6,3 | 6,2 | 6,1 | 6,2 |

вторяют значения генеральной совокупности из 375 описаний. Видовое богатство выборки по участкам рекультивации и самозарастания (при уменьшении количества описаний 2–4 раза по сравнению генеральной совокупностью вариантов) снижается на $21 \pm 2,8\%$. Выборка из 20 описаний вполне репрезентативно представляет видовое богатство нарушенных угледобычей территорий, которое в генеральной совокупности составляет в среднем $188 \pm 5,4$ видов на вариант. Все показатели таксономического богатства вариантов самозарастания выше, по сравнению с полями рекультивации. Выборка из 20 опи-

саний не отражает видового богатства естественных лесных ландшафтов, где этот показатель составляет порядка $370 \pm 9,8$ видов. При помощи программы IBIS (Зверев, 2007) рассчитаны индексы (табл. 3), наиболее часто используемые для характеристики инвентаризационного разнообразия. Динамика изменения индексов разнообразия может сигнализировать о предполагаемой неоднородности видовой структуры сообществ или обозначить границы биотопов, однако не дает ответа, за счет каких конкретно групп это произошло. Индекс Шеннона-Уивера в общем повторяет тенденции изменения показателей видового богатства и индекса концентрации видового богатства. Для целей исследования, тем более на малых выборках эти индексы обладают низкой информативностью.

Таким образом, индексы биологического разнообразия, предложенные для Алтае-Саянского экорегиона, могут быть использованы для сравнения естественных и нарушенных угольной промышленностью территорий и последующего мониторинга. Помимо показателя видового богатства хорошо работают даже на незначительных площадях (малой выборке) индекс редких видов и индекс доля адвентивных видов. Индекс редких видов был использован для обоснования предложений по оптимизации сети особо охраняемых природных территорий Новокузнецкого района Кемеровской области.

ЛИТЕРАТУРА

Артемов И. А., Королюк А. Ю., Лащинский Н. Н., Куприянов А. Н., Анкипович Е. С., Буко Т. Е., Воронина М., Голяков П. В., Давыдов Е. А., Киприянова Л. М., Красников А. А., Красноборов И. М., Курбатская С. С., Липаткина О. О., Ломоносова М. Н., Макунина Н. И., Мальцева Т. В., Маслова О. М., Пронькина Г. А., Пяк А. И., Сарбаа Д. Д., Смелянский И. Э., Стрельникова Т. О., Усик Н. А., Хрусталева И. А., Шауло Д. Н., Шереметова С. А., Яковлева Г. И. Ключевые ботанические территории Алтае-Саянского экорегиона: опыт выделения. – Новосибирск: Академическое изд-во Гео, 2009. – 272 с.

Зверев А. А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова: учеб. пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 304 с.

Ландшафтная карта Кемеровской области. М-б 1: 500 000 / отв. ред. Ю. И. Винокуров, В. Л. Гросс. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 1991.

Платонова С. Г., Скрипко В. В., Стрельникова Т. О., Адам А. А. Методические подходы к сохранению биоразнообразия в зоне влияния угольных месторождений // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: Тр. III Всероссийской науч. конф. с междунар. участием: в 4 т. (28 августа – 1 сентября 1917 г., Барнаул). – Барнаул, 2017. – Т. 3. – С. 257–265.

Стрельникова Т. О. Чужеродные виды во флоре Кемеровской области // Ботанические исследования Сибири и Казахстана, 2013. – Вып. 19. – С. 114–122.

Стрельникова Т. О., Платонова С. Г., Скрипко В. В. Использование расчетных индексов в качестве индикаторов биоразнообразия популяционно-видового и экосистемного уровней // Проблемы изучения растительного покрова Сибири: Материалы VI Междунар. науч. конф. (24–26 октября 2017 г., Томск). – Томск: Издательский Дом ТГУ, 2017. – С. 92–94.

Яшина Т. В. Индикаторы оценки биоразнообразия на особо охраняемых природных территориях Алтае-Саянского экорегиона. Руководство по использованию. – Красноярск, 2011. – 56 с.