

51. Кожушко Н. Н., Мережко А. Ф., Чернышева С. В. Физиологические особенности остистых и безостых изолиний яровой пшеницы в условиях засухи // Тез. докл. Первого Всесоюзного совещания «Использование изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах». Новосибирск, 1990. С. 73-75.

52. Коваль С. Ф. Изогенные и аллоплазматические линии, их создание и использование // Тез. докл. Первого Всесоюзного совещания «Использование изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах». Новосибирск, 1990. С. 4-7.

53. Гамзикова О. И. Влияние генов короткостебельности на реакции пшеницы в связи с фоном азотного питания // Тез. докл. Первого Всесоюзного совещания «Использование изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах». Новосибирск, 1990. С. 60-62.

54. Сеначина Т. В., Лисицина О. И. Корреляционные связи между элементами продуктивности иммунных и короткостебельных линий серии АНК // Тез. докл. Первого Всесоюзного совещания «Использование изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах». Новосибирск, 1990. С. 85-88.

55. Дейнеко С. В., Омелянчук Н. А. Самоклональная изменчивость по признаку опущения листа у изогенной линии АНК-7А яровой пшеницы в культуре ткани // Тез. докл. Первого Всесоюзного совещания «Использование изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах». Новосибирск, 1990. С. 93-95.

56. Омелянчук Н. А., Гвоздев А. В. Использование изогенных линий для исследования каллусообразования и регенерации // Тез. докл. Первого Всесоюзного совещания «Использование изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах». Новосибирск, 1990. С. 96-98.

57. Suneson C. A., Peltier G. Z. Effects of awns yield and market qualities of wheat // USDA. Circ. 1948. P. 783-788.

58. Лихенко И. Е. Селекционная оценка окраски колоса яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Омск, 1996. 15 с.

*Сергей Николаевич ГАШЕВ —
доцент кафедры зоологии и ихтиологии
биологического факультета,
кандидат биологических наук;
Наталья Александровна САЗОНОВА —
ассистент, аспирант
кафедры зоологии и ихтиологии
биологического факультета*

УДК 573.7: 574.4:576.8:591.4:599.3 (571.12)

**ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ
СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ
СООБЩЕСТВ МЛЕКОПИТАЮЩИХ
ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ
АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

АННОТАЦИЯ. Разработан метод характеристик сообществ млекопитающих в экологическом мониторинге с применением интегральных показателей состояния и устойчивости экосистем.

The method of use of communities mammal in ecological monitoring with application of integrated parameters of a condition and stability ecosystems is developed.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка состояния и устойчивости сообществ организмов в условиях воздействия различных возмущающих факторов (в том числе, антропогенных) является одной из главных задач экологического мониторинга. При решении методологических проблем экологического мониторинга одним из ключевых вопросов является выбор показателей (критериев), которые могут быть использованы для оценки состояния окружающей среды. Унифицированные требования к «вектору состояния» экологических систем и к окружающей среде в целом отсутствуют [1]. Одним из наиболее часто применяемых критериев является устойчивость экологических систем, определяемая через различные функциональные характеристики [2; 3; 4; 5; 6; 7 и др.]. Этот показатель, безусловно, может быть использован, но только как одна из прочих характеристик экосистемы, отражающая ее способность сохранять прежнее состояние под действием тех или иных факторов (резистентная устойчивость) или возвращаться в исходное состояние после снятия действия этих факторов (упругая устойчивость). Для оценки степени антропогенного воздействия на экосистемы нами предлагается использовать не столько популяционные показатели отдельных доминирующих видов или видов-индикаторов (наиболее чувствительных к тому или иному фактору), сколько характеристики сообществ млекопитающих исследуемых территорий (в сравнении с контролем), как наиболее объемно отражающие состояние экосистемы. При этом учитывается не только видоспецифичность, но и взаимозаменяемость элементов в системе [8].

Причем, при проведении мониторинговых исследований сообществ организмов и, в частности, мелких млекопитающих (например, под воздействием антропогенных факторов) удобно и необходимо использование неких интегральных показателей, отражающих качественный состав, структурные и функциональные особенности этих сообществ. Так, оценка состояния биогеоценоза должна, по мнению ряда специалистов, основываться на сумме нормализованных индексов состояния отдельных диагностических признаков с учетом их значимости при агрегировании [9]. В результате обоснованной агрегации отдельных показателей мы можем существенно сократить количество окончательных параметров, что позволит не только упростить процессы математического моделирования и экологического прогнозирования, но и сделает более понятными результаты исследований для управляющих работников в области природопользования и охраны природы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Практические работы по оценке состояния сообществ мелких млекопитающих под воздействием различных антропогенных факторов проводятся нами с 1985 г. на территории Тюменской области. Исследованиями охвачены все природные зоны и подзоны области. Изучено влияние на сообщества мелких млекопитающих таких факторов, как: нефтяное загрязнение, механическое повреждение почвенно-растительного покрова в результате газодобычи, пирогенные факторы в факельных зонах нефтепромыслов и во время лесных пожаров, промышленные рубки леса, электромагнитные поля ВЛЭП, урбанизация, рекреация, сельскохозяйственное производство и др. В ходе исследований рассмотрено большое количество различных показателей состояния сообществ мелких млекопитающих и популяций отдельных видов, оценена их информативность. Одной из главных целей работы являлось выработать единый обобщенный показатель благополучия сообщества (SSS). Возможность использования предлагаемых показателей рассматривается на примере сообществ млекопитающих нефтезагрязненных территорий Среднего Приобья и залежных земель юга Тюменской области. В Среднем Приобье заложено 77 пробных площадей,

отработано более 13250 ловушко-суток, отловлено более 1200 зверьков, относящихся к 25 видам. В лесостепных районах области заложено 55 пробных площадей, отработано 8100 ловушко-суток, отловлено более 900 зверьков 18 видов мелких млекопитающих.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исходя из функциональной значимости отдельных показателей нами предполагается использовать в формуле интегрального показателя такие частные параметры, которые отражают основные структурные и функциональные особенности сообщества млекопитающих. В качестве последних в обязательном порядке должны быть рассмотрены показатели, отражающие видовой состав и соотношение видов в сообществе, количество особей каждого вида и качественные особенности отдельных видов в плане их индивидуальной устойчивости к возмущающему фактору. Для каждого i -го вида в сообществе млекопитающих предполагается вычисление индекса индивидуальной антропогенной адаптированности (I_i), который можно определить по формуле: $I_i = 100/[A + B + Kr + ((C + E)/2)]$ [10], при этом все виды должны быть разнесены по градациям 5 шкал: 1) индекса K - r -ориентированности вида (Kr) (от g -стратегов через g -ориентированных, $r = K$ -стратегов и K -ориентированных видов к K -стратегам — 1, 2, 3, 4 и 5 баллов, соответственно); 2) степени антропофобии (A) (от эвсинантропов через синантропов, антропофилов и «нейтралов» к антропофобам — от 1 до 5 баллов); 3) степени консументности (B) (от поедателей семян и плодов через поедателей вегетативных частей растений, всеядных и поедателей беспозвоночных к плотоядным — от 1 до 5 баллов); 4) предпочитаемой влажности (C) и 5) закрытости (E) местообитаний (от сухого через влажное к мокрому и от открытого через полуоткрытое к закрытому — 1, 2 и 3 балла в каждой). На основании этих индексов (I_i) и обилия конкретных видов (n_i) в сообществе млекопитающих рассчитываются его оригинальные экологические характеристики: показатель эвсинантропии $I_s - I_s = (\sum(ES_i * I_i)) / (\sum(n_i * I_i))$, где ES_i — численность каждого i -го эвсинантропного вида, $\sum n_i = N$, где N — общее обилие зверьков; индекс антропогенизации $I_a - I_a = (\sum(ES_i * I_i) + \sum(S_i * I_i)) / (\sum(n_i * I_i))$, где S_i — численность каждого i -го синантропного вида; показатель антропофилии $I_f - I_f = (\sum(ES_i * I_i) + \sum(S_i * I_i) + \sum(FI_i * I_i)) / (\sum(n_i * I_i))$, где FI_i — численность каждого i -го антропофильного вида; индекс естественности $I_e - I_e = (\sum(NT_i * I_i) + \sum(FO_i * I_i)) / (\sum(n_i * I_i))$, где NT_i — численность видов-«нейтралов», FO_i — антропофобов; показатель ранимости $I_r - I_r = (\sum(FO_i * I_i)) / (\sum(n_i * I_i))$. На основе этих показателей рассчитывается индекс антропогенной адаптированности сообщества млекопитающих: $IAA = (I_f - I_r) / I_e * 100\%$. Но при $I_e = 0$ IAA принимается равным 100%. Это — интегральная характеристика сообщества. Она будет тем выше, чем больше в сообществе видов из групп эвсинантропов, синантропов и антропофилов с более высокими индивидуальными индексами I_i и чем меньше в сообществе «нейтралов» и антропофобов. В. С. Смирнов в личном отзыве на нашу работу вместо I_i предложил использовать $\ln I_i$, чтобы избавиться от асимметрии в распределении индекса, но мы считаем это излишним, так как этот показатель в нашей интерпретации является величиной не вероятностной ни по происхождению, ни по дальнейшему использованию, а разница по логарифмированному показателю менее рельефна.

Общая устойчивость сообщества (сумма упругой и резистентной составляющих) основывается на термодинамических особенностях системы и может быть рассчитана по формуле: $U = 0.09e^{(D(2G+3T)/G)} + 0.9D(1+K/R)$ [10], где первое слагаемое — упругая устойчивость, а второе — резистентная; $e = 2.718$ — основание натурального логарифма, $D = 1 - \sum(n_i/N)^2$ — индекс видового разнообразия Симпсона (использование его по сравнению с индексом Шеннона придает меньший вес редким видам, что исходя из постулата «избыточности систем» за счет шунтирующих связей позволяет не пере-

оценивать их роль в устойчивости системы), $R=(V-1)/\lg N$ – видовое богатство, V – число видов, N – общее число особей, T – стадия сукцессии экосистемы (при $0 < T < 0.2$ имеет место пионерное сообщество, при $0.2 < T < 0.3$ – молодое, при $0.3 < T < 0.5$ – переходное, при $0.5 < T < 0.9$ – зрелое, а при $T=1$ – климаксное), K – коэффициент «вязкости» среды, G – коэффициент «упругости» среды (последние два показателя должны быть определены для каждой природной зоны или подзоны Земли) (Табл. 1).

Таблица 1

Шкала значений «вязкости» (K) и «упругости» (G) среды для природных подзон Западной Сибири

Природная подзона	K	G
Арктическая тундра	2,5	0,85
Типичная тундра	3,0	0,80
Южная тундра	3,2	0,78
Лесотундра	3,5	0,75
Северная тайга	4,0	0,70
Средняя тайга	4,5	0,65
Южная тайга	5,0	0,60
Подтайга	5,5	0,55
Северная лесостепь	6,0	0,50
Средняя лесостепь	5,8	0,53
Южная лесостепь	5,5	0,55
Степь	5,0	0,6

Нетрудно заметить, что при «нулевом» сообществе (т. е. при отсутствии видов на данной территории) устойчивость его не равна нулю, а составляет минимальную величину, равную 0.09. Это так называемая устойчивость пустоты, для преодоления которой также требуются усилия и энергетические затраты.

Важными являются показатели, отражающие половую и возрастную структуры популяций и сообщества мелких млекопитающих в целом. Предлагаемый нами показатель консервативности (IKV) складывается из долей наиболее консервативных групп в популяциях мелких млекопитающих: самок и зимовавших зверьков - $IKV=(FE/N)+(ZZ/N)$, где FE – количество самок, а ZZ – количество зимовавших зверьков. Репродуктивные процессы, во многом определяющие дальнейшую судьбу популяций отдельных видов и сообщества, предлагается оценивать показателем успешности размножения (URZ), выражаемым как процент от того количества детенышей, которое потенциально могли бы произвести 100 самок в данных условиях за одну генерацию:

$UBS = (BS/FE)*100$, где BS – количество беременных самок,

FE – общее количество самок в сообществе;

$EMS = (EM/BS)$, где EM – общее количество эмбрионов;

$URE = (RE/EM)$, где RE – количество резорбирующих эмбрионов;

$$URZ = \left\{ \left[\frac{BS}{FE} 100 \left(\left[\frac{EM}{BS} 100 \left(100 - \frac{RE}{EM} 100 \right) \right] / 100 \right) \right] / \left[\frac{EM}{BS} 100 \right] \right\} * 100$$

И, наконец, важным показателем, на наш взгляд, является территориальная структура сообщества, которую мы оцениваем показателем агрегированности. Показатель агрегированности вслед за Ю. Одумом [11] предлагается вычислять по формуле: $AG=d/m$, где m – среднее арифметическое значение обилия особей на изучаемой площади (по отдельным площадкам), d – дисперсия. Однако, напомним, что увеличение агрегированности организмов может вызываться как локальным увеличением обилия зверьков при общей постоянной численности за счет улучшения условий обитания в этих отдельных локусах, так и за счет снижения общего обилия при сохране-

нии зверьков только в некоторых участках территории, более благоприятных при данных (в общем-то неблагоприятных) условиях. Именно с учетом второго случая нами для оценки качества среды предлагается показатель «плохой» агрегированности: $BAG=AG/N$ [12].

После индексации описанных выше параметров может быть предложен интегральный показатель. Этот обобщенный показатель благополучия сообщества мелких млекопитающих (SSS) складывается из индексированных параметров сообщества и может быть определен, например, по формуле: $SSS = U + 0.1 IKV + 0.01 IAA + 0.01 URZ + (0.1/BAG)$. На рассмотренных нами ниже сообществах мелких млекопитающих получены результаты, свидетельствующие об адекватности использованных параметров (Табл. 2).

Таблица 2

Интегральные показатели сообществ мелких млекопитающих нефтезагрязненных (А) и залежных (Б) земель

А

Показатели	Сильное загрязнение	Среднее загрязнение	Слабое загрязнение	Контроль
Количество видов	0,8±0,01	2,8±0,20	3,4±0,11	7,0±0,61
Относительное обилие зверьков	1,5±1,14	5,4±2,34	15,3±4,02	14,7±3,12
Индекс антропогенной адаптированности	2,14±0,02	0,73±0,04	0,54±0,04	0,29±0,03
Общая устойчивость системы	1,85±0,53	5,07±0,05	11,31±2,15	19,53±3,11
Успешность размножения	14,25±3,35	35,48±6,50	78,34±9,43	141,5±5,13
Индекс консервативности	0,46±0,06	0,68±0,08	0,75±0,09	0,81±0,12
Показатель «плохой агрегированности»	0,12±0,05	0,13±0,08	0,15±0,05	0,11±0,03
Обобщенный показатель благополучия	2,90±0,25	6,27±0,22	12,85±2,34	21,90±6,23

Б

Показатели	Поле	Молодая залежь	Старая залежь	Целина
Количество видов	2,2±0,41	1,9±0,30	3,8±0,51	4,1±0,61
Относительное обилие зверьков	8,2±1,29	9,7±2,23	18,5±3,01	14,2±2,54
Индекс антропогенной адаптированности	93,12±6,88	69,99±11,47	4,15±1,34	2,56±0,58
Общая устойчивость системы	1,93±0,41	1,37±0,29	4,59±1,18	13,46±4,14
Успешность размножения	24,95±10,69	35,61±9,51	35,25±10,35	37,48±6,63
Индекс консервативности	0,68±0,12	0,88±0,14	0,76±0,11	0,80±0,05
Показатель «плохой агрегированности»	0,25±0,06	0,38±0,07	0,13±0,05	0,14±0,06
Обобщенный показатель благополучия	3,26±0,45	2,64±0,30	6,25±1,16	14,65±4,16

При этом видно, что по реакции на различные антропогенные воздействия обобщенный показатель благополучия сообществ ведет себя аналогичным образом, не проявляя специфичности, что, учитывая определенные методологические требования к критериям показателей состояния, свидетельствует о широкой возможности использования его при экологическом мониторинге.

Обобщенный показатель благополучия в сообществах мелких млекопитающих нефтезагрязненных земель закономерно увеличивается от участков с сильным загрязнением к контрольным территориям, где превышает первый почти на порядок, а в исследованных сообществах мелких млекопитающих на сельскохозяйственных землях — достоверно увеличивается от молодой залежи к старой, при этом на целине он почти в 3 раз выше, чем в среднем на залежных участках.

Из показателей, связанных с термодинамическими и информационными свойствами исследуемых систем, безусловно, выделяется общая устойчивость сообществ мелких млекопитающих, определяемая видовым разнообразием и видовым богатством, но не оценивающая качественный состав видов в сообществе. Этот показатель в значительной степени определяет и величину обобщенного показателя благополучия (особенно в устойчивых сообществах). Коэффициенты корреляции U со степенью нефтяного загрязнения и стадией восстановления распаханых ранее земель соответственно составляют: $-0,99 \pm 0,07$ и $0,94 \pm 0,24$.

Из промежуточных показателей состояния сообществ мелких млекопитающих нефтезагрязненных и залежных земель, учитывающих специфику видового состава животных, хорошо зарекомендовал себя индекс антропогенной адаптированности, который по результатам дисперсионного анализа на 74,3 и 65,5% определяется действием соответствующих исследуемых факторов. При этом коэффициенты корреляции IAA и SSS с действующими факторами составляют соответственно: $0,82 \pm 0,40$ и $-0,99 \pm 0,06$ при нефтяном загрязнении; $-0,88 \pm 0,33$ и $0,95 \pm 0,23$ при восстановлении залежных земель.

Показатель для определения качества среды по данному параметру (DSSS) в мониторинговом режиме может быть определен по формуле: $DSSS = (\Delta X / X_f) * 100\%$, где ΔX — отклонение значения данного параметра от фонового (контрольного или исходного), X_f — фоновое значение параметра.

В нашем случае отклонение обобщенного показателя благополучия сообщества мелких млекопитающих от контроля составляет, например, 86,8% при сильном нефтяном загрязнении и 41,3% — при слабом. На 77,7% отклоняется от фона обобщенный показатель благополучия сообщества мелких млекопитающих на сельскохозяйственных полях с посевами зерновых.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в нашей работе предлагается комплекс показателей, определяющих состояние сообществ млекопитающих, сформированный из ряда адекватных и репрезентативных параметров. Вводится обобщенный показатель благополучия сообщества мелких млекопитающих, интегрирующий в себе индексированные значения 6 из указанных выше вспомогательных показателей. Показано применение данного комплекса при экологическом мониторинге сообществ животных нефтезагрязненных и залежных земель в условиях Западной Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейм А. М., Павлов Б. К., Брусиловский П. М. и др. Приемы прогнозирования экологических систем. Новосибирск: Наука, 1985. 128 с.
2. Глазовская М. А. Принципы классификации почв по их устойчивости к химическому загрязнению // Земельные ресурсы мира, их использование и охрана. М., 1978. С. 5-15.

3. Глазовская М. А. Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989. 326 с.
4. Крауклис А. А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 157 с.
5. Пых Ю. А. Равновесие и устойчивость в моделях популяционной динамики. М.: Наука, 1983. 183 с.
6. Рюмин В. В. Динамика и эволюция южно-сибирских геосистем. Новосибирск: Наука, 1988. С. 13-23.
7. Семенов Ю. М., Мартынов А. В. Ландшафтные подходы к обоснованию норм техногенных воздействий на геосистемы // География и природные ресурсы. 1994. № 1. С. 15-22.
8. Гашев С. Н. Экологические характеристики сообществ млекопитающих // Тез. конф. «Биологическое разнообразие животных Сибири». Томск: ТГУ, 1998. С. 128-129.
9. Пых Ю. А., Малкина-Пых И. Г. Об оценке состояния окружающей среды. Подходы к проблеме // Экология. 1996. № 5. С. 323-334.
10. Гашев С. Н. Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области). Тюмень: Изд-во ТГУ, 2000. 220 с.
11. Одум Ю. Экология: В 2 т. М.: Мир, 1986. 328 и 376 с.
12. Гашев С. Н. Показатель «плохой» агрегированности в оценке качества среды обитания животных // Териологические исследования. СПб.: ЗИН РАН, 2002. С. 131.

*Наталья Александровна САЗОНОВА —
ассистент, аспирант
кафедры зоологии и ихтиологии
биологического факультета*

УДК 573.7:574.4:576.8:591.4:599.3 (571.12)

СООБЩЕСТВА МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ СУКЦЕССИИ

АННОТАЦИЯ. В результате комплексных экологических исследований показан ход сукцессионного развития сообществ мелких млекопитающих при восстановлении брошенных пахотных земель.

This article is a result of complex ecological studies with an objective to show the process succession of small mammal communities in the abandoned arable lands.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка состояния и устойчивости сообществ организмов в условиях воздействия различных возмущающих факторов (в том числе и антропогенных) является одной из главных задач экологического мониторинга.

В данной работе исследовали степень воздействия на биоценозы сельскохозяйственного производства, которое существенно изменяет структуру сообществ организмов на трансформированных землях и определяет восстановительные процессы в сообществах животных на землях, исключенных из сельскохозяйственного использования (залежах).

Общая площадь залежей в последние годы значительно возросла — в Тюменской области она составила более 1000 тыс. га [1]. В связи с этим изучение сообществ животных на нарушенных и восстанавливающихся землях приобретает большой научный и практический интерес.