

УДК 574.2+574.3

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЗДОРОВЬЯ СРЕДЫ

В. М. Захаров

*Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН
Россия, 119334, Москва, Вавилова, 26
E-mail: ecopolicy@ecopolicy.ru*

Поступила в редакцию 18.05.12 г.

Оценка состояния биоразнообразия и здоровья среды. – Захаров В. М. – Работа посвящена рассмотрению возможных подходов к оценке состояния биоразнообразия и здоровья среды. Обосновывается важность фонового мониторинга как приоритетного направления современных исследований, в качестве главных задач которого определены: оценка фонового состояния биологических систем и его возможных отклонений от нормы, оценка последствий выявляемых изменений и исследование гомеостатических механизмов устойчивости на разных уровнях – от изменения состояния организма до изменения популяционных параметров и структуры сообщества и их динамики.

Ключевые слова: биоразнообразие, здоровье среды, стабильность развития, изменение климата, антропогенное воздействие.

Biodiversity condition estimation and health of environment. – Zakharov V. M. – The study is aimed at evaluating possible approaches to assess the biodiversity condition and the health of the environment. As a result, background monitoring is characterized as a priority direction of the contemporary research. Evaluation of the background condition of biological systems and its possible alteration from the conditional norm; assessment of consequences of the initial changes revealed as well as a study of homeostatic mechanisms at various levels, from changes in an organism's status to alterations in population parameters and community structure and their dynamics are identified as main tasks of such a research.

Key words: biodiversity, health of environment, developmental stability, climate change, anthropogenic impact.

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетность оценки и мониторинга состояния биоразнообразия и его возможных изменений связана не только с тем, что этим определяется возможность рационального использования природных ресурсов, но, главным образом, определяется тем, что от этого зависит поддержание баланса и жизнеобеспечивающих функций биосферы (Павлов и др., 2010). Не менее важной задачей является и обеспечение благоприятной окружающей среды, здоровья среды, необходимой для нормальной жизнедеятельности живых существ, включая человека (Захаров, Трофимов, 2011). Обе эти задачи приобретают все большую актуальность на фоне нарастающего антропогенного воздействия, как на локальном уровне, так и глобально, включая загрязнение среды, изменение климата и другие факторы, и определяют приоритетность мониторинга состояния биоты. Рассмотрение возможных подходов для оценки состояния биоразнообразия и здоровья среды и является целью настоящей работы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка состояния биоразнообразия

Ключевой задачей при решении проблемы сохранения биоразнообразия является сохранение изначальных природных комплексов, естественной структуры сообществ. Эффективность мер по сохранению биоразнообразия обычно оценивается по площади сохраненных местообитаний, видовому разнообразию и численности отдельных видов. При этом необходимо иметь в виду, что изменения биоразнообразия, которые при антропогенном воздействии в большей степени обычно связаны с физическими преобразованиями местообитания, в настоящее время происходят практически повсеместно вследствие климатических изменений, что ставит на повестку дня необходимость специального мониторинга состояния биоразнообразия в этом ключе (Павлов, Захаров, 2011). Важен учет особенностей используемых подходов для решения задачи сохранения биоразнообразия и применимости оценок биоразнообразия для обеспечения благоприятной экологической обстановки.

Кроме базовой информации по обычно используемым параметрам состояния биоразнообразия для обеспечения длительного благополучного существования сохраняемых видов необходимо получение определенной дополнительной характеристики исследуемых популяций. Это определяется тем, что во внешне благополучном местообитании в многочисленной популяции может иметь место существенное изменение состояния особей. Это нередко наблюдается в районах химического и радиационного загрязнения (Захаров и др., 2000). Кроме того, восстановление популяции от небольшого числа основателей может приводить к существенному угнетению состояния организма. В результате многочисленные популяции могут быть представлены особями в гораздо худшем состоянии, чем малочисленные. В качестве примера можно привести беловежскую популяцию европейского зубра (*Bison bonasus* (Linnaeus, 1758)), состояние особей в которой оставляет желать лучшего (Ваганов et al., 1997). Причем собственно генетический анализ не дает необходимой информации. В одних случаях существенное снижение генетического разнообразия может сопровождаться благополучным состоянием организма, в других – незначительное его снижение может вести к угнетенному состоянию. Число примеров таких ситуаций, видимо, велико, но это зачастую остается неизвестным, поскольку специально не исследуется. Проверка этого необходима в каждом конкретном случае. Без учета здоровья видов и экосистем проведение работ по сохранению биоразнообразия может приводить к непредсказуемым последствиям.

Оценка здоровья среды

Перспективным подходом для фонового мониторинга и оценки последствий различных видов воздействия, как для отдельных видов, так и для экосистем, является оценка качества среды по состоянию населяющих ее живых организмов. Суть подхода – в оценке гомеостаза развития как наиболее общей характеристики функционирования живого организма. Такое направление исследований здоровья среды, основанное на оценке состояния природных популяций по гомеостазу раз-

вития, определяется сегодня как популяционная биология развития (Захаров и др., 2001) или экологическая биология развития (Гилберт, 2004; Захаров, 2004). Подход предполагает использование разных методов для оценки гомеостаза развития в отношении разных видов, что необходимо для характеристики экосистемы в целом, но, как показала практика, для первой рекогносцировочной оценки здоровья среды возможно использование оценки стабильности развития (по интегральным показателям флуктуирующей асимметрии морфологических признаков) в отношении отдельных фоновых модельных видов.

Такие оценки были проведены в разных районах как в естественных условиях, так и при разных видах антропогенного воздействия, включая химическое и радиационное, промышленное и сельскохозяйственное загрязнение, комплексное антропогенное воздействие. Практика оценки показала возможность использования подхода для выявления первых ответов биоты, когда по другим популяционным показателям или показателям биоразнообразия (на уровне сообщества) они еще не могут быть выявлены, а также оценки возможных изменений состояния организма в ходе популяционной динамики и изменения структуры сообщества.

Применимость оценок биоразнообразия для оценки здоровья среды

Характеристика состояния биоразнообразия представляет самостоятельный интерес для оценки благоприятности экологической обстановки, но при этом необходим учет ряда важных моментов.

Внешне благополучная ситуация при прежнем биоразнообразии и многочисленных популяциях вовсе не обязательно является свидетельством реального экологического благополучия. И на фоне прежнего биоразнообразия при значительном негативном воздействии могут иметь место существенные изменения здоровья среды.

Серьезные изменения состояния организма зачастую наблюдаются на фоне прежнего биоразнообразия. Общим выводом таких экологических исследований является то, что уровень биоразнообразия и численности отдельных видов в зонах химического и радиационного загрязнения может сохраняться на прежнем уровне или оказывается даже выше, чем на незагрязненной контрольной территории. В качестве примера можно привести результаты исследований, проведенных вблизи химических предприятий на Средней Волге (Захаров и др., 2000). На фоне крайне серьезных нарушений стабильности развития (возрастание показателей асимметрии) уровень биоразнообразия исследуемых сообществ мелких млекопитающих и рыб оказался выше в зоне воздействия, чем на условно контрольной территории (рис.1, 2).

Можно отметить ряд причин такого эффекта. Обитающие здесь виды не ощущают этого воздействия. Они не могут быть замещены другими видами, поскольку ни для каких видов эти условия не являются оптимальными. Главным фактором исчезновения определенных видов является физическое изменение местообитания, а в зонах загрязнения такая деятельность человека обычно ограничена. Промышленные предприятия часто строятся в местах, представляющих собой крайне богатые местообитания (например, пойменные участки). Важным факто-

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЗДОРОВЬЯ СРЕДЫ

ром для поддержания богатого биоразнообразия является то, что в таких местах обычно имеет место эвтрофикация, что является привлекательным для многих видов.

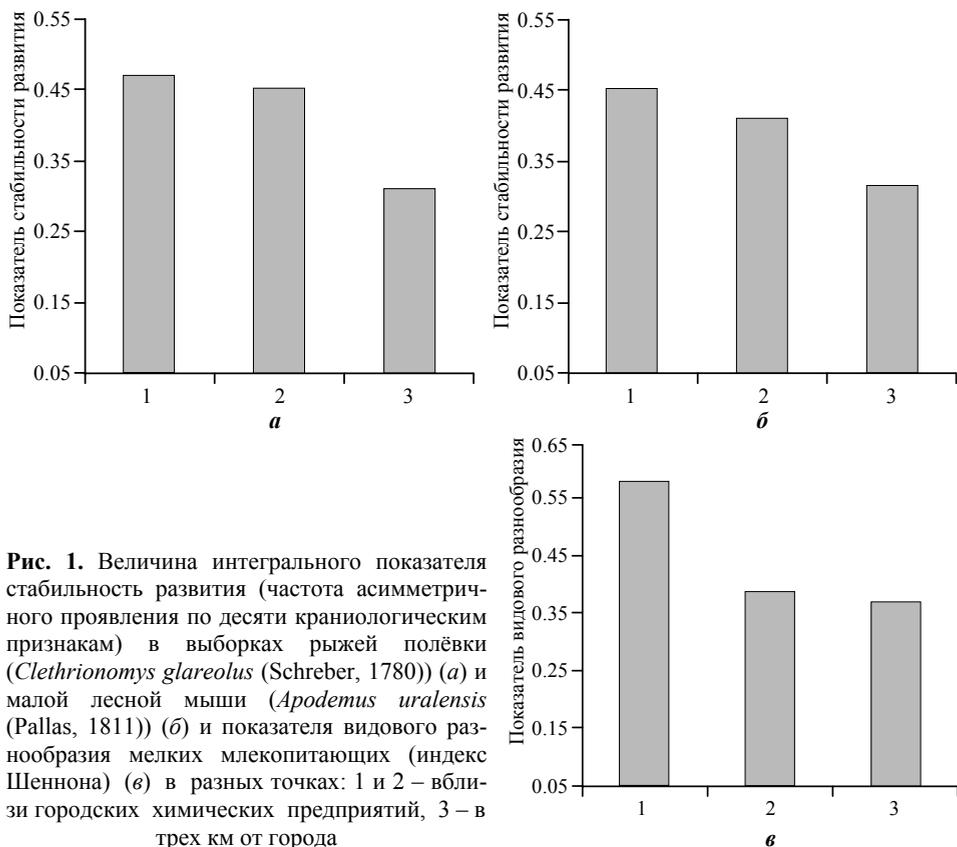


Рис. 1. Величина интегрального показателя стабильности развития (частота асимметричного проявления по десяти краниологическим признакам) в выборках рыжей полёвки (*Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780)) (а) и малой лесной мыши (*Apodemus uralensis* (Pallas, 1811)) (б) и показателя видового разнообразия мелких млекопитающих (индекс Шеннона) (в) в разных точках: 1 и 2 – вблизи городских химических предприятий, 3 – в трех км от города

Не является универсальным и подход, основанный на оценке видов-индикаторов. В исследованном сильно загрязненном районе на Средней Волге широко известные виды-индикаторы были многочисленны (в частности, широкопалый речной рак (*Astacus astacus* (Linnaeus, 1758)) и озёрная лягушка (*Rana ridibunda* (Pallas, 1771)), последний вид являлся объектом исследования и для него в районе воздействия были обнаружены существенные изменения показателей гомеостаза развития). На фоне неизменного ландшафта многочисленные представители различных видов, выполняя свою экосистемную функцию, могут находиться в плачевном состоянии.

Таким образом, оценка обычно используемых показателей биоразнообразия как важный аспект характеристики состояния среды представляет собой исследо-

вание, связанное с получением ответа на вопрос о том, в какой степени они могут быть затронуты при том или ином воздействии.

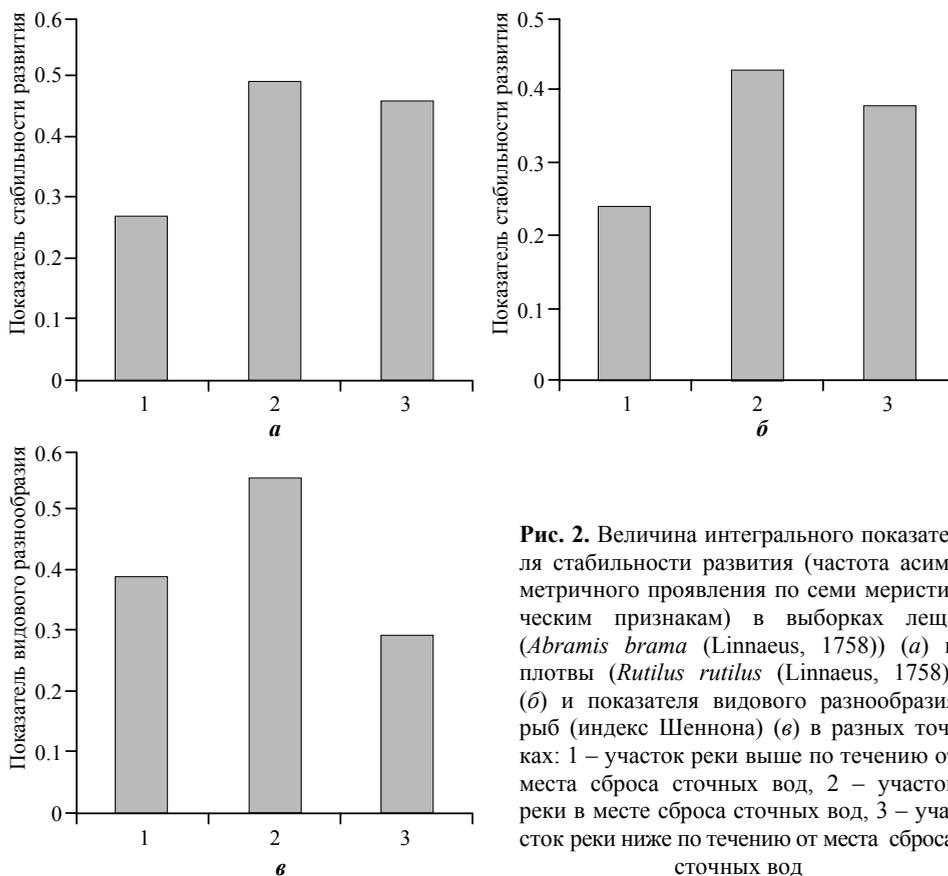


Рис. 2. Величина интегрального показателя стабильности развития (частота асимметричного проявления по семи меристическим признакам) в выборках леща (*Abramis brama* (Linnaeus, 1758)) (а) и плотвы (*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758)) (б) и показателя видового разнообразия рыб (индекс Шеннона) (в) в разных точках: 1 – участок реки выше по течению от места сброса сточных вод, 2 – участок реки в месте сброса сточных вод, 3 – участок реки ниже по течению от места сброса сточных вод

В целом оценка определенного воздействия и его последствий в рассматриваемом ключе предполагает проведение самостоятельных специальных исследований по трем направлениям. Определение степени воздействия предполагает проведение специальных измерений параметров оцениваемого фактора, обычно связанных с физическими или химическими анализами. Оценка благоприятности или степени негативного эффекта воздействия для состояния живого организма предполагает использование подходов, связанных с оценкой здоровья среды. Характеристика последствий определенного воздействия для биоразнообразия предполагает оценку возможных изменений численности и многообразия видов. Таким образом, ответ на каждый из этих вопросов – о силе воздействия и его последствиях для биоразнообразия и здоровья среды – предполагает самостоятельные исследова-

дования, а степень согласованности получаемых при этом результатов может быть совершенно различной и требует специального анализа в каждом конкретном случае. Специфика ответа и отсутствие связи результатов каждого подхода дают важную информацию для характеристики последствий исследуемого воздействия.

Изменение климата и антропогенное воздействие

Повсеместное изменение климата определяет необходимость разносторонней оценки его последствий для характеристики сложившейся ситуации и прогнозирования развития событий.

Повсеместно нарастающие климатические изменения приводят ко все более явным последствиям для биоты. Если несколько лет назад большинство исследователей говорили о таких возможных последствиях с осторожностью и в большей степени в виде предположения, то сегодня эти изменения уже не вызывают сомнений (Изменения климата..., 2007, 2008; Павлов, Захаров, 2011). Все более сложной задачей становится не обнаружение последствий изменения среды, что имеет место практически повсеместно, а поиски контроля, т. е. тех зон, где возможна оценка изначальной естественной структуры сообществ и их динамики.

В качестве приоритетных направлений таких исследований можно отметить: фенологические наблюдения, оценку динамики численности популяций и сообществ и мониторинг изменения ареалов. Специальный интерес представляют разработка и использование подходов, основанных на исследовании онтогенетических характеристик в природных популяциях (популяционная биология развития).

К настоящему времени получены результаты, свидетельствующие об изменении состояния популяций на экологической периферии ареала (на пределе высотного распространения вида для берёзы повислой, *Betula pendula* Roth). Это позволяет охарактеризовать ответ развивающегося организма на изменения условий среды (снижение стабильности развития), вызванные глобальными климатическими изменениями. Выявленная реакция недавних вселенцев в новые местообитания (видимо, вследствие уменьшения площади ледников, что повсеместно отмечается в последние годы в высокогорных регионах (Гулев и др., 2008)) подтверждает это предположение и представляет собой модель того, что может происходить в таких ситуациях (Захаров и др., 2011 а). Такая реакция может наблюдаться как у самих вселенцев, так и у ряда других видов, вследствие произошедших в сообществе изменений. Эти исследования перспективны для развития подходов для решения глобальных проблем оценки и прогноза последствий инвазий чужеродных видов (Дгебуадзе, 2007). Изменения состояния популяций может иметь место и при нарушении прежней популяционной динамики, обусловленном изменениями климата (Захаров и др., 2011 б)

Специальный интерес проведение таких исследований представляет на значительных континентальных территориях. Появляются первые свидетельства того, что для таких территорий, экосистемы которых адаптированы к стабильным условиям, даже незначительные климатические изменения могут иметь более существенные последствия, чем для экосистем, адаптированных к колебаниям климатических условий. Исследования показали, что результатом климатических измене-

ний может быть нарушение обычной для популяций цикличности и в дальнейшем, даже при восстановлении прежней динамики численности, могут наблюдаться существенные изменения в структуре сообщества (Захаров и др., 2011 б). Измененное вследствие этих процессов сообщество может, в свою очередь, выступать в качестве дополнительного фактора, определяющего динамику и состояние популяций отдельных видов. Отклонения от обычной динамики отмечались и в других исследованиях как для мелких млекопитающих (Berteaux et al., 2006; Bierman et al., 2006), так и для ряда других видов (Ims et al., 2008). В качестве главной причины наблюдаемых отклонений также предполагались климатические изменения.

Во многих случаях однозначное выявление последствий собственно климатических изменений затруднительно на фоне все возрастающих различных видов антропогенных воздействий (Изменения климата..., 2007, 2008). Исследование последствий климатических изменений несомненно сыграет свою роль в определении в качестве приоритетного направления исследований – выявление последствий глобального изменения среды в целом, определяющим фактором которого все больше выступает антропогенное воздействие.

Актуальные проблемы современного мониторинга

Все более сложной задачей оказывается нахождение контроля для характеристики фонового состояния, вследствие усиления и все более широкого распространения самых разных воздействий, прежде всего, связанных с деятельностью человека.

В этой связи принципиальную важность приобретают представления о норме и возможности оценки степени и направления отклонений от нее. Преимущество подхода, связанного с оценкой здоровья среды (популяционная биология развития) – наличие характеристики обычного условно нормального состояния исследуемых показателей. Следующая важная черта подхода – выявление негативных изменений даже на фоне возможных при определенных условиях положительных эффектов воздействия на такие показатели, как размеры и темп роста организма или численность и видовое богатство. Еще одной важной особенностью подхода является уровень определяемой условной нормы, что, в свою очередь, зависит от чувствительности используемых показателей (Захаров, Трофимов, 2011). Достаточно широкий диапазон условий в градиенте нарастания степени воздействия, который характеризуется существенным изменением показателей стабильности развития, обычно укладывается в пределы зоны выживания, когда не наблюдается существенных изменений обычно используемых показателей жизнеспособности. В качестве примера можно привести исследование, проведенное в градиенте нарастания степени загрязнения в районе Уфимского промышленного комплекса (Бойко, Уразгильдин, 2003; Бойко, 2004). Значительное нарастание степени нестабильности развития наблюдается у берёзы повислой (*B. pendula*) на фоне обычного общего жизненного состояния, крайне важного показателя, который в большей степени характеризует диапазон условий, пригодных для выживания. Выявление первых, обычно еще обратимых эффектов предполагает использование показателей здоровья среды.

Ответ на вопрос о влиянии изменений климата и других глобальных последствий антропогенного воздействия на состояние популяций различных видов предполагает выявление возможных изменений во времени, причем не только в экстремальных условиях на экологической периферии ареала, но и в обычных условиях, которые рассматриваются в качестве фоновых. Актуальность этого определяется тем, что изменения климата нарастают и наблюдаются практически повсеместно. Первые многолетние исследования, полученные в ряде точек Калужской области для насекомых (два вида жуков-мертвоедов, *Nicrophorus vespilloides* (Herbst, 1783) и *N. vespillo* (Linnaeus, 1758)) и растений (берёза повислая, *B. pendula*), показывают тенденцию к снижению стабильности развития. В качестве наиболее вероятной причины отмеченных изменений были предположены отклонения условий от оптимальных значений, прежде всего, вследствие повсеместно наблюдаемых изменений климата (Стрельцов, Илюшина, 2008; Трофимов, Захаров, 2011). Эти результаты свидетельствуют о возможности выявления изменений показателей состояния популяций во времени не только на экологической периферии ареала, но и в условиях, которые обычно рассматриваются в качестве фоновых. Это определяет важность повсеместного мониторинга возможных изменений состояния популяций вследствие глобальных изменений климата и нарастания общего антропогенного воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная ситуация характеризуется повсеместным нарастанием изменений среды вследствие локальных и глобальных воздействий, главным образом, за счет антропогенного пресса. Именно он все больше выступает в качестве основного фактора происходящих изменений. В этих условиях все больший теоретический и практический интерес и значимость начинает приобретать организация фонового мониторинга как приоритетного направления исследований.

Все более проблематичным становится нахождение не мест воздействия, а контроля. Обычная ситуация, когда большинство популяций вида находится при относительно оптимальных условиях, начинает меняться. Вследствие повсеместных последствий изменений климата и других антропогенных воздействий все большее число популяций оказывается в необычных условиях, по сути, в условиях экологической периферии ареала. Это ставит на повестку дня задачу оценки последствий развития организма большинства популяций вида в неоптимальных условиях, характеристики фонового состояния и возможности его определения в качестве условной нормы.

Как показывает практика, для понимания реальных последствий наблюдаемых воздействий среды необходима не просто разовая оценка ситуации и фиксация определенных отклонений, а продолжение исследований для выяснения дальнейшей судьбы выявляемых изменений.

Принципиально важным оказывается исследование гомеостатических механизмов обеспечения устойчивости при оценке последствий выявляемых изменений на разных уровнях – от изменения состояния организма до изменения популяционных параметров и структуры сообществ и их динамики.

Автор выражает признательность И. Е. Трофимову, Н. А. Шаровой и Т. Б. Трофимовой за помощь в выполнении настоящей работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», подпрограмма «Биоразнообразие: состояние и динамика».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бойко А. А. Оценка стабильности развития листьев березы повислой в условиях аэротехногенного загрязнения окружающей среды // Лесной вестник. 2004. № 5. С. 121 – 123.

Бойко А. А., Уразгильдин Р. В. Оценка жизненного состояния березняков Уфимского промышленного центра // Лесное образование, наука и хозяйство. Уфа : РИО РУНМЦ МО РБ, 2003. С. 168 – 171.

Гилберт С. Ф. Экологическая биология развития – биология развития в реальном мире // Онтогенез. 2004. Т. 35, № 6. С. 425 – 438.

Гулёв С. К., Катцов В. М., Соломина О. Н. Глобальное потепление продолжается // Вестн. РАН. 2008. Т. 78, № 1. С. 20 – 27.

Джеббадзе Ю. Ю. Глобальное изменение климата и инвазии чужеродных видов // Изменение климата и биоразнообразие России / под ред. Д. С. Павлова, В. М. Захарова. М. : Акрополь, 2007. С. 8 – 16.

Захаров В. М. Экологическая и популяционная биология развития : туда и обратно (комментарий к статье С. Ф. Гилберта) // Онтогенез. 2004. Т. 35, № 6. С. 439 – 440.

Захаров В. М., Трофимов И. Е. Оценка здоровья среды : экологическое нормирование (оценка состояния природных популяций по стабильности развития) // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоёмов : материалы Объединённого Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии, Гидробиол. о-ва при РАН и Межведомств. ихтиол. комиссии / под ред. Д. С. Павлова, Г. С. Розенберга, М. И. Шатуновского. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. С. 102 – 120.

Захаров В. М., Чубинишвили А. Т., Дмитриев С. Г., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Крысанов Е. Ю., Кряжева Н. Г., Пронин А. В., Чистякова Е. К. Здоровье среды : практика оценки / Центр экологической политики России. М., 2000. 320 с.

Захаров В. М., Жданова Н. П., Кирик Е. Ф., Шкиль Ф. Н. Онтогенез и популяция : оценка стабильности развития в природных популяциях // Онтогенез. 2001. Т. 32, № 6. С. 404 – 421.

Захаров В. М., Кряжева Н. Г., Дмитриев С. Г., Трофимов И. Е. Оценка возможных изменений состояния популяций вследствие климатических изменений (на примере исследования стабильности развития березы повислой) // Успехи современной биологии. 2011 а. Т. 131, № 4. С. 425 – 430.

Захаров В. М., Шефтель Б. И., Дмитриев С. Г. Изменение климата и популяционная динамика : возможные последствия (на примере мелких млекопитающих в Центральной Сибири) // Успехи современной биологии. 2011 б. Т. 131, № 5. С. 435 – 439.

Изменение климата и биоразнообразие России / под ред. Д. С. Павлова, В. М. Захарова. М. : Акрополь, 2007. 96 с.

Изменение климата и биоразнообразие России / под ред. Д. С. Павлова, В. М. Захарова. М. : Акрополь, 2008. Вып. 2. 148 с.

Павлов Д. С., Захаров В. М. Последствия изменения климата для биоразнообразия и биологических ресурсов России : приоритетные направления исследований // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131, № 4. С. 323.

Павлов Д. С., Стриганова Б. Р., Букварёва Е. Н. Экологоцентрическая концепция природопользования // Вестн. РАН. 2010. Т. 80, № 2. С. 131 – 140.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И ЗДОРОВЬЯ СРЕДЫ

Стрельцов А. Б., Илюшина Л. А. Динамика показателя стабильности развития березы бородавчатой на территории Калужской области // Изменение климата и биоразнообразие России / под ред. Д. С. Павлова, В. М. Захарова. М. : Акрополь, 2008. Вып. 2. С. 128 – 131.

Трофимов И. Е., Захаров В. М. Анализ динамики показателей стабильности развития для мониторинга последствий изменений климата (на примере жуков-мертвоедов) // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131, № 4. С. 431 – 432.

Baranov A. S., Pucek Z., Kiseleva E. G., Zakharov V. M. Developmental stability in hybrids of European bison *Bison bonasus* and domestic cattle // Acta Theriologica. 1997. Suppl. 4. P. 79 – 85.

Berteaux D., Humphries M. M., Krebs C.J., Lima M., McAdam A. G., Pettorelli N., Reale D., Saitoh T., Tkadlec E., Weladji R. B., Stenseth N. C. Constraints to projecting the effects of climate change on mammals // Climate Research. 2006. Vol. 32. P. 151 – 158.

Bierman S. M., Fairbairn J. P., Petty S. J., Elston D. A., Tidhar D., Lambin X. Changes over time in the spatiotemporal dynamics of cyclic populations of field voles (*Microtus agrestis* L.) // The American Naturalist. 2006. Vol. 167, № 4. P. 583 – 590.

Ims R. A., Henden J.-A., Killengreen S. T. Collapsing population cycles // Trends in Ecology and Evolution. 2008. Vol. 23, № 2. P. 79 – 86.