

ПЕРЕВОДЫ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2022. – Т. 31. – № 2. – С. 65-71.

УДК 911.2:502.1

DOI 10.24412/2073-1035-2022-10447

ИЗ ПУСТЫНИ К ЗЕМЛЕ ОБЕТОВАННОЙ: МОШЕ ШАЧАК И ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ЭКОСИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ // ВЕБ-САЙТ ИЗРАИЛЬСКОГО ОБЩЕСТВА ЭКОЛОГИИ И НАУК ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ Январь 2010 г.

Джонс К.Г. (Clive Gareth Jones)

Cary Institute of Ecosystem Studies, PO Box AB, Millbrook, NY, USA; jonesc@caryinstitute.org

Аннотация. В этом юбилейном сборнике, посвященном 75-летию Моше Шачаку (Moshe Shachak) прослеживается история развития инженерии экосистем. Концепция пришла из [пустыни] Негев, вышла далеко за пределы пустыни и имеет большие перспективы на будущее. Моше играл и, несомненно, продолжит играть в ней центральную роль. В честь Моше, его жены Далии (Dahlia), а также их детей и внуков, я свободно применяю метафору от детства к взрослой жизни для описания развития концепции инженерии экосистем. Я переплетаю Моше с прошлым, настоящим и будущим концепции, рассказывая о науке и о науковедении.

Юбилейная статья для Моше

Для меня большая честь и удовольствие представить эту статью как дань уважения моему давнему другу и коллеге Моше Шачаку. Это не типичная научная статья, тем не менее, речь идет о научном понятии – экосистемной инженерии. Концепция пришла из [пустыни] Негев, вышла далеко за пределы пустыни и имеет большие перспективы на будущее. Моше играл и, несомненно, продолжит играть в центральную роль в её развитии.

У Моше и Далии двое детей, 5 внуков и перспективы правнуков. Как и все родители, они испытывали огромное удовольствие и периодическое беспокойство, воспитывая своих детей и внуков точно так же, как Моше и я испытывали удовольствие и периодическое беспокойство в связи с развитием экосистемной инженерии. Итак, в честь Моше, Далии и их семьи я свободно применяю метафору от детства к взрослой жизни к

развитию концепции инженерии экосистем, переплетая становление Моше с прошлым, настоящим и будущим концепции, рассказывая о науке и о науковедении.

Предварительное зачатие, зачатие, беременность и рождение

В отличие от младенцев, часто бывает трудно датировать «зачатие» научной идеи с момента ее официального рождения, статьи в журнале "Oikos" 1994 года [1]². Хотя многие родители планируют детей, с нашей концепцией никакого планирования не было. Экосистемная инженерия выросла из проектов и дискуссий в течение длительного времени. У неё не было единого источника, и она не двигалась прямолинейно по некоему следу, но зародилась она действительно 27 лет назад со следов, оставленных улитками-камнегрызами.

Предконцепция: улитки-камнегрызы

В 1983 г. Моше приехал из пустыни в только что созданный Институт изучения экосистем, это был его первый визит из многих последующих. Со своим обычным заразительным энтузиазмом он рассказал мне историю о лишайниках, живущих в известняковых скалах, о круглых канавках на скалах и о маленьких улитках, прячущихся

Jones C.G. Out of the desert toward the promised land: Moshe Shachak and the past, present and future of ecosystem engineering // Israel society of ecology and environmental sciences website. January 2010. [https://www.researchgate.net/publication/258339520_out_of_the_desert_toward_the_promised_land_moshe_shachak_and_the_past_present_and_future_of_ecosystem_engineering] и [<http://www.isees.org/il/dmpageeng.aspx?menuid=14&itemid=2>]. (Перевод с англ. Г.С. Розенберга).

² Работы процитированы и список литературы представлен как в оригинале статьи.

под камнями. Он сказал, что лишенологи предположили, что бороздки были сделаны круглыми эндолитными колониями лишайников. Он же предположил, что они были сделаны улитками, которые ели эти лишайники. Я был заинтригован. В те дни я изучал травоядных и защиту растений. Я задавался вопросом, нужно ли эндолитным лишайникам защищаться; в конце концов, они уже были защищены внутри скал. Мы запланировали работу на следующий год.

Моше вернулся с улитками, эндолитными лишайниками и камнями (это позволило создать модель, переносную экосистему [portable ecosystems]). Имитируя выпадение росы, которое активизировало улиток, мы сняли их на видео; действительно, они ели камень! За следующие несколько лет мы узнали гораздо больше, хотя наши исследования в области химической защиты ни к чему не привели. В пустыне Негев было 3 вида улиток рода *Euchondrus*, питающихся камнями, один из которых обитал в кратере Рамон. Чтобы поедать камень, улитки использовали свои радулы – скребущие языки с зубами. Алан Солем (Alan Solem), в то время мировой эксперт по физиологии улиток (сейчас он, к сожалению, умер), сказал, что в их радулах нет ничего особенного. Они ломают много зубов, но, как и у других улиток, радула непрерывно отрастает сзади. Улитки кормятся каждый раз, когда на камнях выпадает роса, примерно 210 раз в год рано утром. Мы подсчитали, что около 21 улитки на м² съедает почти 5 г камня в день; таким образом, улитка в год перерабатывает (съедает и испражняется) на одном гектаре около 1000 кг камня (*у меня получилось 500 кг, но все равно – много. – Переводчик*); фактически, имеет место почвообразование, равное по величине выпадению эоловой пыли в этом районе. Фекалии улиток откладывались под камнями, где улитки укрывались днем. Наряду с дробленным известняком в фекалиях было около 0,45% непереваренного азота, который исходно поступал из растворенного в воде. Это около 11% от общего годового поступления азота в почву, около 18% чистого годового поступления и не менее 27% азота, ежегодно накапливаемого эндолитными лишайниками из пыли. Довольно причудливые истории в наших статьях "Science" и "Nature" [2, 3] привлекли большое внимание средств массовой информации. Моше появился в программе BBC TV «Завтрашний мир» (17 февраля 1995 г.). В известном комиксе Билла Тайди "Гримблдон Даун"³, публиковавшемся в "New Scientist", под-

черкивалось, что, учитывая огромное количество камней, превращенных в фекалии, мы должны быть благодарны, что улитки не летают! [4] (*в полном соответствии с анекдотом нашего детства – «хорошо, что коровы не летают...».* – Переводчик).

При написании статей мы изо всех сил пытались найти более широкий контекст. В отвергнутом черновике заключения научной статьи упоминались другие организмы, разрушающие горные породы и подобные субстраты – лишайники, другие моллюски, корни растений, рыбы-попугай и кораллы. Возможно, отражая доминирование трофической парадигмы и работу в Институте экосистемных исследований, обе статьи в конечном итоге были помещены в контекст потребителей и экосистемных эффектов видов, показывая, как современные парадигмы и схоластические традиции глубоко влияют на интерпретацию открытий.

Зачатие и вынашивание: много влияний

В отличие от младенцев, я не могу легко отделить зачатие от беременности для инженерии экосистем. Был ряд факторов, влияющих на этот процесс. К концу 1980-х годов я был знаком с представлениями Моше и все больше находился под его влиянием – органичное сочетание концепций и эмпиризма, не ограниченное таксономическими границами или тем, где начинается или заканчивается биология, и способное к одновременному размышлению во многих временных и пространственных масштабах о внешне не связанных между собой темах, которые, конечно, оказываются родственными. После моих визитов в Негев с 1987 г. я начал приобретать собственное понимание этой пустыни. Стали более определенными и прозрачными представления о том, что организмы делали в экосистеме. Их воздействие на физическую среду было очевидным – норы изопод, муравейники, насыпи и ямы дикобразов, корка на почве и стоки, рукотворные лиманы и т. д.

Потребительский контекст продолжал влиять на наше мышление. В 1989 г. мы опубликовали статью с Томом Бьянки (Tom Bianchi) под названием «Положительная обратная связь плотности населения потребителей на предложение ресурсов» [5]. Некоторыми примерами в статье были классические отношения «ресурс-потребитель» – скопления тлей, увеличивающие поток флоэмы, и стада копытных, увеличивающие скорость кру-

³ "Grimbledon Down" – комикс британского мультипликатора Билла Тайди (William Edward "Bill" Tidy; г. р. 1933), высмеивающий секретное предприятие по

производству химического и биологического оружия. Он печатался в журнале "New Scientist" с 26 марта 1970 г. по 26 марта 1994 г. (комментарий переводчика).

говорота питательных веществ, – другие таковыми не были; в первую очередь – полихеты, биотурбирующие грунт как на конвейерной ленте, и роющие пустынные изоподы, которые соответственно изучали Том и Моше. Эта цитата из статьи, в которой сравниваются эти два явления, показательна: «В обоих случаях достигается большая приспособленность на душу населения... за счет увеличения предложения ресурсов, которые оба являются результатом изменения физической среды». Расширенная физика организмов явно присутствовала и в нашем мышлении.

В 1989 г. Джон Лоутон (John Hartley Lawton), директор недавно созданного Центра популяционной биологии в Великобритании, начал ежегодные визиты в Институт. Исходя из смеси экологии популяций, сообществ и экосистем, мы трое знали о тогдашнем глубоком концептуальном разрыве между теми, кто сосредоточился на видах – экологами популяций и сообществ (демэкологами) – и учеными, изучающими экосистемы (синэкологи). Мы говорили о том, как преодолеть этот разрыв, и придумали Кэри-конференцию на тему "Связь видов и экосистем" (Cary Conference on "Linking Species and Ecosystems"). Разработка концептуальной основы конференции помогла нам разработать экосистемную инженерию.

По мере того, как мы изучали, как виды могут влиять на функционирование экосистемы, стало ясно, что трофические взаимодействия, хотя они и важны, это еще не всё. А как насчет всего прочего, чем виды занимались в экосистемах? Куда вписались бы улитки-камегрызы, биотурбирующие полихеты, роющие дождевые черви, почвенные корки и кустарниковые насыпи, и целый ряд, казалось бы, сходных организмов? Были ли они все одинаковыми? Что это было, если не «трофическая экология»? Мы собрали великое множество примеров, сопоставив их с новыми концептуальными моделями. Мы отследили родственные идеи в литературе. Мы часами спорили о том, что включить и как определить, и в итоге пришли к «организмам, которые прямо или косвенно модулируют доступность ресурсов (кроме самих себя) для других видов, вызывая изменения физического состояния биотических или абиотических материалов» [1]. Мы хотели использовать термин «экосистема», чтобы отразить взаимодействие живого и неживого, и Джон предложил термин «инженерия», который, не задумываясь о том, как его могут неправильно истолковать другие, мы сочли уместным. Так была задумана экосистемная инженерия, хотя она еще не родилась.

Что заставило концепцию кристаллизироваться? Во-первых, мы хорошо знали друг друга и много разговаривали на эту тему, прежде чем утвердить её. Во-вторых, мы все подверглись эмпирическому воздействию этого феномена; Джон только что завершил исследования, связанные с инженерией дождевых червей [6]. В-третьих, мы регулярно встречались в месте, где поощрялись новые идеи и готовность идти на риск, – в Институте изучения экосистем. В-четвертых, мы столкнулись с более серьезной задачей создания концептуальной основы для конференции Кэри.

Рождение: несколько долгое, но не сложное

Джон представил доклад об инженерии экосистемы на конференции Кэри в мае 1993 г. [7]; как ведущий организатор я должен был подготовить другие презентации. Моше дал статью, которую мы вдвоем написали, об изоподах и цепочках экологических потоков, соединяющих виды, экосистемы и инженерию в пространстве и времени [8]. Его недавняя статья об экологических сетях в "Journal of the Israel Society of Ecology and Environmental Science" была разработана на основе цепочек потоков. Другие презентации были посвящены или касались экосистемной инженерии, хотя это была лишь часть конференции. Джон и я написали о конференции [9], как и Стив Карпентер (Steve Carpenter, [10]). Они были похожи на объявления о рождении, смешанные с другими семейными новостями, поскольку инженерия экосистемы не была единственной целью. Тем временем наша рукопись была отправлена в "Oikos", прошла рецензирование без каких-либо намеков на разногласия. Статья была принята в сентябре 1993 г. и опубликована в начале 1994 г. [1].

Сборник конференции вышел в начале 1995 г. [11] и в конечном итоге сделал многое, чтобы помочь разрушить барьеры между специалистами по дем- и синэкологии. Тем не менее, некоторое разделение явно остается, и это можно объяснить некоторыми разногласиями по поводу инженерии экосистем, к которым я вернусь позже. Я думаю, что разработка инженерии экосистем способствовала разрушению барьеров; эта концепция требует рассмотрения как для видов, так и для экосистем.

Мирное детство с медленным развитием

Два года после статьи в "Oikos" были интеллектуально тихими. Статью начали цитировать (хотя часть была самоцитированием Джона Лоутона). С характерным для него энергичным энтузиазмом он проталкивал эту идею. Его активное участие закончилось в 2000 г., когда он начал новую карьеру в качестве главы Национального

совета по исследованиям окружающей среды в Великобритании. Джим Браун (Jim Brown) поддержал статью [12], но также призвал нас к ответственности за попытки классифицировать взаимодействия организмов; возражение, которое мы позже часто слышали от некоторых экологов, которым не нравилось, что мы разбиваем организмы на функциональные группы, в соответствии с их инженерными и трофическими ролями. Вместе с Солом Брандом (Sol Brand) мы с Моше опубликовали статью об улитках и изоподах, почвообразовании, эрозии и опреснении, продолжив наши исследования и интеграцию экосистемной инженерии в пустыне Негев [13]. Билл Герни (Bill Gurney) и Джон Лоутон опубликовали первую статью по моделированию экосистемной инженерии [14], проложив путь к неуклонно растущему числу исследований по моделированию, в которые Моше и я внесли независимый вклад. Статья в "Oikos" была перепечатана в "Readings in Ecosystem Management" [15], сборнике ранее опубликованных статей. Это было лестно, но, возможно, преждевременно. За исключением работы Моше и других в Негеве [16], управленческие разветвления экосистемной инженерии стали привлекать серьезное внимание лишь относительно недавно. В этот период мы мало что сделали для развития концепции; и у Моше, и у меня было много других нетехнических проектов.

Трудное детство

В 1997 г. мы опубликовали дополнительную статью в специальном выпуске журнала "Ecology" о положительных взаимодействиях под названием «Положительные и отрицательные эффекты организмов как физических инженеров экосистем» [17]. Статья несколько разозлила редактора специального выпуска, который подчеркивал важность позитивного взаимодействия. Однако мы пришли к выводу, что представление о том, что инженерия экосистем имеет только положительный эффект, концептуально и эмпирически несостоятельно. Мышление, основанное на результатах, во многих статьях этого специального выпуска, противоречило нашему подходу, предсказывающему результаты процесса; это создало напряжение, которое легло в основу некоторых последующих дебатов. Мы тоже совершенствовались. Статья 1994 г. исключила создание жилой площади как инженерию; теперь логически, мы включили этот процесс. Мы также расширили идеи, обобщения и уточнили всю концепцию.

В 1998 г. Джозеф Альпер (Joseph Alper) написал в журнале "Science" статью об экологии [18]. Он сказал, что Дэйв Тилман (Dave Tilman) и дру-

гие «думают, что после тонкой настройки концепция инженеров экосистем может быть готова присоединиться к элитному набору теорий, таких как естественный отбор и теория хищник-жертва, которые помогают объяснить, как виды возникают и взаимодействуют». Мы думали, что это реклама, и нам было лестно. Вероятно, это послужило раздражителем для тех, кто сомневался в ценности концепции. Растущее внимание далеко не всегда было положительным. В 1997 г. Мэри Пауэр (Mary Power) призвала нас к ответу за намерение, подразумеваемое словом «инженер», которое мы защищали [19-21]. Ей понравилась концепция, но не понравился термин «инженер». В конце 2000 г. тогдашний аспирант получил неприятный отзыв от известного старшего эколога в ответ на статью, представленную в "Ecology". Назвав экосистемную инженерию «жаргоном», «переработанными идеями» и «глупостью», рецензент сказал, что он узнал больше из детских книг о бобрах в библиотеке, чем из статьи. Эта статья, опубликованная чуть позже в журнале "Oecologia" в 2002 г. [22], в настоящее время имеет более 90 цитирований, признана классическим исследованием масштабного инженерного воздействия на разнообразие и породила множество исследований по этой теме. Также для экологии молодому исследователю (чьей личностью я защищаю), представившему превосходное исследование с применением инженерных моделей некоторое время в этот период, сообщили, что статья будет принята, только если автор уберет экосистемную инженерию из названия; автор так и сделал, и она была опубликована. В 2002 г. в выпуске "Trends and Ecology and Evolution", посвященном экосистемной инженерии, Рейхман и Сиблум (O.J. Reichman, Eric William Seabloom) утверждали, что эта концепция упрощает взаимодействие организма с окружающей средой [23]. Энди Уилби (Andy Wilby), работавший с Моше, яростно защищал наши общие ценности, указывая на то, что именно Райхман и Сиблум занимались упрощением [24, 25].

Эти и другие аргументы против данной концепции отражены в следующих вопросах. Разве не все организмы изменяют окружающую среду? Следовательно, не все ли организмы являются инженерами экосистем? Если да, то не является ли эта концепция слишком широкой, чтобы быть полезной? Разве инженеры не всегда оказывают крупномасштабное воздействие? Разве инженеры не должны ограничиваться видами с большими эффектами? Разве инженеры и ключевые виды не одно и то же? Зачем нужна концепция? Концепция четко рассматривает некоторые, но не все, способы, которыми организмы могут изменять абиотическую среду, и их последствия.

Она охватывает разрозненные и часто игнорируемые экологические явления, не охваченные исторической направленностью экологии на трофические отношения. Если это было так известно, то почему в учебниках по экологии того времени не было упоминаний об этом явлении? Может быть, потому что формальное признание и изучение не считались центральными в экологической науке, несмотря на их очевидную важность? В работах 1994 и 1997 гг. обращалось внимание на повсеместность и важность этого процесса и его последствий, предоставлялась интегрирующая общая структура, излагалась программа исследований, основанная на вопросах, и давалось ему название. Мой долгожданный катарсический⁴ ответ на критику, которая включает в себя вышеизложенное и многое другое, появился в 2007 г. в первой отредактированной книге, посвященной инженерии экосистем [26].

Негативный опыт, полученный в письменной форме, на семинарах и лекциях, заставил меня избегать разработки экосистемы в течение пяти лет, о чем я теперь жалею. Я опубликовал только две статьи по этой тематике в период 1998-2002 гг. Жена подтолкнула меня к продолжению. Она дала мне карточку с изображением дохлой рыбы, плывущей по реке, и подписью: «Только дохлая рыба плывет по течению». Такое же сопротивление испытал и Моше (личное сообщение); это была одна из причин, по которой он перестал продвигать экосистемную инженерию и сосредоточился на модуляции ландшафта [27]. Он отметил, что студенты его приняли – молодежь открыта для новых идей; и это сопротивление исходило от тех, кто не любит экологию экосистем и поэтому сопротивляется связыванию организмов и экосистем; тех, кто считает инженерию нарочитой – семантическая проблема Мэри Пауэр [19-21]; и от тех, кто чувствует угрозу, потому что они вложили значительные средства в модели, которые не включают в себя эти представления.

В свете широко распространенного в настоящее время принятия и использования этой концепции, трудное детство экосистемной инженерии хорошо представлено известной шуткой о четырех стадиях научного признания идеи, приписываемой в ее самой последней форме Дж.Б.С. Холдейну (J.B.S. Haldane; [28]): 1. это никчемная ерунда; 2. это интересная, но извращенная точка зрения; 3. это верно, но совершенно не важно; 4. я всегда так говорил. Это забавно, но есть и уроки. Молодых ученых не пугают

скептицизм и сопротивление. Для ученых старшего возраста: если вам не нравится идея, будьте конструктивны, а не деструктивны, и никогда не опускайтесь до личных нападок.

Настоящее: энергичный подросток

Подобно скачку подросткового роста, начиная с 1996 г., наблюдался экспоненциальный рост числа цитирований и публикаций по теме экосистемной инженерии – например, более 150 публикаций в 2009 г. [29]. В 1994 и 1997 годах наши статьи активно цитируются, но и многие другие ученые внесли свой новый, широко цитируемый вклад [29]. Как и в подростковом возрасте, все следовало моде, ссылаясь на статьи, потому что другие также цитировали эти статьи. Так же, как и в подростковом возрасте, экосистемная инженерия приобрела много друзей и знакомых. Публикации в предметных областях, помимо экологии, включают биоразнообразие и охрану природы, эволюционную биологию, геонауку, агрономию, гражданское строительство и многие другие области по всему миру [29]. Многие сейчас используют эту концепцию, помогая продвигать теорию и применение, предотвращая субдисциплинарную раздробленность.

Будучи подростком, экоинженер посещал множество конференций и собраний. Состоялись или запланированы многочисленные конференции и специальные сессии по этой теме. Также, как и в подростковом возрасте, инженерия экосистемы – это сетевое взаимодействие. С 2004 по 2008 год Рабочая группа Национального центра экологического анализа и синтеза по инженерии экосистем (National Center for Ecological Analysis and Synthesis Working Group on ecosystem engineering) – Моше изначально был вовлечен в эту группу – продвигала вперед моделирование и синтез, а также редактировала первую книгу по теории, моделированию и применению инженерии экосистем [30]. Сегодня экосистемная инженерия преподается во многих университетах, имеет множество статей в онлайн-энциклопедиях и является предметом статей и книг для широкой публики. Это вошло в общее сознание. Когда я недавно был на Галапагосах, проводники парков называли кораллы инженерами экосистем. Во Франции в 2008 году Suez Environnement⁵ провела рекламную кампанию под названием «Сделать планету устойчивой – лучшая работа на

⁴ Катарсис – процесс высвобождения эмоций.

⁵ Suez SA (ранее Suez Environnement) – французская коммунальная компания, работающая в основном в сфере водоснабжения и управления отходами; является крупнейшим частным поставщиком воды в мире по количеству обслуживаемых людей; головной офис компании находится в Париже.

Земле». Французское слово «инженер» сопровождалось изображением архетипа природного инженера-зоотехника – бобра [31].

Каким заметным научным направлениям следует этот подросток? Одним из них является принятие экосистемной инженерии в *теорию экологической ниши* – эволюционную версию экосистемной инженерии, хотя она включает в себя нечто большее [32]. Другие направления: проектирование палеоэкосистем; моделирование; развитие пространственных аспектов; инженерия в сочетании с трофической экологией; использование для охраны, восстановления и управления инвазивными видами. Также было проведено множество новых тематических исследований, разработка методов, много синтезов и обобщений, а также разнообразное использование в экологии популяций, сообществ и экосистем. Моше внес свой вклад во многие из этих областей. Я перестал быть «мёртвой рыбой – a dead fish», и с 2002 г. активно развивал свою работу по инженерии экосистем [33], хотя, за исключением исследований в пустыне Негев по земной коре и кустарникам [34] и концептуального синтеза, который включает большую часть нашей работы в Негев [35], Моше и я прокладывали на этом поле независимые борозды.

Будущее: многообещающая взрослая жизнь

Экосистемная инженерия имеет очень многообещающую взрослую жизнь, хотя, как и родители многих молодых людей, я не уверен, какую именно, и молодые люди должны принимать свои собственные решения. Я скажу кое-что из того, что считаю полезным. Большинство исследований было посвящено физической инженерии. Вполне вероятно, что организмы могут «химически конструировать» абиотическую среду [1, 36]. Однако далеко не ясно, отличается ли это по форме или эффекту от неизбежных абиотических химических изменений, вызванных массопереносом организмов – явлений, уже рассматриваемых в существующих теориях конкуренции за ресурсы и круговорота питательных

веществ. При отсутствии четкого разграничения, концепция бережливости говорит, что существующая теория имеет первенство. Я думаю, что это сложная проблема, достойная внимания, над которой я работаю. Дальнейшее развитие концептуальных основ и моделей может помочь подтолкнуть экосистемную инженерию к мощной прогностической теории, равно как и большее внимание к пространственным измерениям. Здесь уместны некоторые из недавних работ Моше по модуляции ландшафта [27], а также некоторые из моих [33]. В статье 1994 г. [1] люди названы «по преимуществу инженерами экосистем – ecosystem engineers par excellence». Тем не менее, не было никаких серьезных попыток применить инженерию экосистем для понимания изменения окружающей среды человеком; и уроки, извлеченные из изучения инженеров природы, не широко используются для улучшения модификации окружающей среды человеком; и мы еще не широко используем инженеров Природы в качестве агентов управления окружающей средой. Это явные вызовы для экологических, социальных и управленческих наук. Наконец, как и инженерия экосистем несколько лет назад, строительство ниши [32] переживает трудное детство. Я думаю, что у теории экосистемной инженерии есть большой потенциал для внесения вклада в эволюционную теорию.

Из пустыни к земле обетованной: интеллектуальное наследие Моше

Значительный вклад Моше в развитие экосистемной инженерии постоянно упоминается в этой статье. У Моше и Далии, скорее всего, будут правнуки, но независимо от такого генетического наследия нет сомнений в его интеллектуальном наследии. Ни я, ни Моше не увидят Земли Обетованной для инженерии экосистемы; это не потому, что мы оба ожидаем скорой смерти, а потому, что, в отличие от людей, идеи могут жить и развиваться вечно. Мы все глубоко признательны Моше Шачаку за его вклад в разработку экосистем и многие другие области экологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Reference List

[1] Jones CG, Lawton JH, Shachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* **69**: 373-386.
[2] Shachak M, Jones CG, Granot Y. 1987. Herbivory in rocks and the weathering of a desert. *Science* **236**: 1098-1099.
[3] Jones CG, Shachak M. 1990. Fertilization of the desert soil by rock-eating snails. *Nature* **346**: 839-841.

[4] Tidy W. 1987. Grimbleton down. *New Scientist* **115**: 72.
[5] Bianchi TS, Jones CG, Shachak M. 1989. The positive feedback of consumer population density on resource supply. *Trends in Ecology and Evolution* **4**: 234-238.
[6] Thompson L, Thomas CD, Radley JMA, Williamson S, Lawton JH. 1993. The effect of earthworms

and snails in a simple plant community. *Oecologia* **95**: 171-178.

[7] Lawton JH, Jones CG. 1993. Organisms as ecosystem engineers. Linking Species and Ecosystems, Cary Conference V, Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY, May 8-12. Published as: Lawton JH and Jones CG. 1995. Organisms as ecosystem engineers. In: Linking Species and Ecosystems (Eds. Jones CG and Lawton JH), pp. 141-150. Chapman and Hall, New York.

[8] Shachak M and Jones CG. 1993. Ecological flow chains: A conceptual approach to linking species and ecosystems. Linking Species and Ecosystems, Cary Conference V, Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY, May 8-12. Published as: Shachak M and Jones CG. 1995. Ecological flow chains and ecological systems: Concepts for linking species and ecosystem perspectives. In: Linking Species and Ecosystems (Eds. Jones CG and Lawton JH), pp. 280-294. Chapman and Hall, New York.

[9] Lawton JH and Jones CG. 1993. Linking species and ecosystems perspectives. *Trends in Ecology and Evolution* **8**: 311-313.

[10] Carpenter S. 1993. Connections between population and ecosystem ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* **74**: 353-355.

[11] Jones CG and Lawton JH (Eds.). 1995. Linking Species and Ecosystems. Chapman and Hall, New York.

[12] Brown JH. 1995. Organisms as engineers: A useful framework for studying effects on ecosystems? *Trends in Ecology and Evolution* **10**: 51-52.

[13] Shachak M, Jones CG, and Brand S. 1995. The role of animals in an arid ecosystem: Snails and isopods as controllers of soil formation, erosion and desalinization. *Advances in GeoEcology* **28**: 37-50.

[14] Gurney WSC and Lawton JH. 1996. The population dynamics of ecosystem engineers. *Oikos* **76**: 273-283.

[15] Samson FB and Knopf FL. (Eds.). 1996. Readings in Ecosystem Management. Springer-Verlag, New York.

[16] e.g., Shachak M, Sachs M, and Moshe I. 1998. Ecosystem management of decertified shrublands in Israel. *Ecosystems* **1**: 475-483.

[17] Jones CG, Lawton JH, and Shachak M. 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology* **78**: 1946-1957.

[18] Alper J. 1998. Ecosystem engineers shape habitat for other species. *Science* **280**: 1195-1196.

[19] Power ME. 1997. Estimating impacts of a dominant detritivore in a neotropical stream. *Trends in Ecology and Evolution* **12**: 47-49.

[20] Jones CG, Lawton JH, and Shachak M. 1997. Ecosystem engineering by organisms: why semantics matters. *Trends in Ecology and Evolution* **12**: 275. semantics matters. *Trends in Ecology and Evolution* **12**: 275-276.

[22] Wright JP, Jones CG, Flecker AS. 2002. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* **132**: 96-101.

[23] Reichman OJ, Seabloom EW. 2002. The role of pocket gophers as subterranean ecosystem engineers. *Trends in Ecology and Evolution* **17**: 44-49.

[24] Wilby A. 2002. Ecosystem engineering, a trivialised concept? *Trends in Ecology and Evolution* **17**: 307.

[25] Reichman OJ and Seabloom EW. 2002. Reply. Ecosystem engineering, a trivialised concept? *Trends in Ecology and Evolution* **17**: 308.

[26] Jones CG and Gutiérrez JL. 2007. On the meaning, usage and purpose of the physical ecosystem engineering concept. In: Ecosystem Engineers: Plants to Protists (Eds. Cuddington K, Byers JE, Wilson WG, and Hastings A), pp. 3-24. Academic Press/Elsevier, USA.

[27] Shachak M, Boeken B, Groner E, Kadmon R, Lubin Y, Meron E, Ne'Eman G, Perevolotsky A, Shkedy Y, and Ungar ED. 2008. Woody species as landscape modulators and their effect on biodiversity patterns. *BioScience* **58**: 209-221.

[28] Haldane JBS. 1963. Review of 'The Truth About Death'. *Journal of Genetics* **58**: 464.

[29] *Web of Science*, search term "ecosystem engineer" February 2010.

[30] Cuddington K, Byers JE, Wilson, WG, and Hastings A. (Eds.). 2007. Ecosystem Engineers: Plants to Protists. Academic Press/Elsevier, USA.

[31] <http://www.sircome.fr/?Suez-environnement-S-engager-pour>.

[32] Odling-Smee FJ, Laland KN, Feldman MW. 2003. Niche construction: The neglected process in evolution. Princeton University Press.

[33] http://www.caryinstitute.org/people_sci_jon_es_organisms.asp.

[34] Wright JP, Jones CG, Boeken B, Shachak M. 2006. Predictability of ecosystem engineering effects on species richness across environmental variability and spatial scales. *Journal of Ecology* **94**: 815-824.

[35] Jones CG, Gutiérrez JL, Groffman PM, Shachak M. 2006. Linking ecosystem engineers to soil processes: a framework using the Jenny State Factor equation. *European Journal of Soil Biology* **42**: S39-S53.

[36] van Breemen N, Finzi AC. 1998. Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications. *Biogeochemistry* **42**: 1-19.