

Б. Н. Лузгин

Экосистемная память

B. N. Luzgin

Ecosystems Memory

Важнейшим свойством экосистем как сверхсложных конструкций является наличие характеристики «память», содержащей в структурно-вещественном составе системы следы экологически неравноценных экологических событий. Для поврежденных природных систем специфичны разные темпы разрушений и восстановления. Расшифровка их памяти — ключ к выделению нормированных экологически чистых сред и программы реанимации антропогенно нарушенных систем.

Ключевые слова: экосистема, экосистемная память, экологическая чистота, реанимация.

DOI 10.14258/izvasu(2013)3.2-34

Трафаретное ныне выражение «экологически чистые» никакого научного смысла, в сущности, не несет. Это, скорее всего, рекламный и лозунговый сленг, взятый напрокат предпринимателями, управленцами и политиками, далекими от сущностного понимания каких-либо экологических проблем — модный, завораживающий призыв, претендующий, однако, на кажущуюся научность. Каковы критерии отнесения территорий и продуктов к «экологически чистым»? Внешняя красота местности, ее эстетическая привлекательность или состояние внешне различимого биологического равновесия? Отсутствие в продуктах питания токсических примесей и патогенных компонентов? Признаков генной модификации? Или все это вместе? Как оценить степень этой чистоты? Кажется, общих четких критериев пока нет, или они должны быть специфичны для каждого конкретного случая. Но можно ли обнаружить общие свойства и конкретные признаки подобной чистоты? Тем более что противостоящее ей понятие — «экологические загрязнения» — кажется более определенным.

Попытаемся разобраться.

Экологическая память. Любые экологические системы относятся к категориям сверхсложных. Они не линейны и поэтому не принадлежат переводу в уравнения, решаемые обычными математическими методами. Поведение компонентов системы не предсказуемо: настолько сложны, запутаны и разнообразны их взаимные связи. И, кроме того, эти системы обладают генетической памятью,

The most important property of ecosystems, as the highly complex structures, is the presence of features of «memory», containing traces of ecologically unequal environmental events in the structurally-material composition of system. The different rates of destructions and renewal are specific for the damaged natural systems. Decoding of their memory is the key to the isolation of the clean environments and program of reanimation of the anthropogenically damaged systems.

Key words: ecosystems, ecosystems memory, ecological cleanliness, reanimation.

благодаря которой реакции на внешние воздействия протекают по разным сценариям, в зависимости от предшествующей истории их формирования. Именно память хранит эволюционную матрицу любой анализируемой системы. Наложение на предшествующие события, пережитые системой, отражается на ее реакционных способностях, вызываемых последующими актами взаимодействия с факторами изменения обстановок в окружающей среде.

Пожалуй, подобное смысловое понятие памяти раньше всего из природных систем стало использоваться в учении о почвах, отражая их комплексные информационные характеристики. В.В. Докучаев [1] увидел в почвах зеркало условий их образования, сравнив «наши степи прежде и теперь». Позднее понятие «почва-память» неоднократно фигурировало в специальной литературе, обсуждалось в научных дискуссиях, как история биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий [2]. В частности, после нескольких лет эксплуатации пашню ранее оставляли под залежь для существенного восстановления ее плодородных свойств.

Любые растительные сообщества при заметном снижении их потенциала могут быть относительно восстановлены «по памяти» после более или менее длительного периода предоставленного им отдыха при условии сохранения наиболее благоприятных обстановок для их возвращения в направлении предшествующего естественного состояния. В ряде случаев

даже при существенном нарушении состояния прежних ассоциаций происходит их вторичная сукцессия.

Еще более удивительно это проявление памяти для ряда неорганических природных систем. Так, геофизики приводят примеры сохранения общей картины магнитной ситуации после отработки рудных тел, изначально определявших магнитометрические параметры соответствующих аномалий. Вероятно, с этих позиций следует интерпретировать векторную поля подводных вулканических излияний, лежащих в основе наших представлений о периодической смене магнитных полюсов Земли на противоположные значения.

Подобная же наследственная память, очевидно, характерна для геохимических аномалий, образуемых составом первичных и вторичных засоленей. Они представляют широко распространенное явление снижения плодородия пахотных почв в условиях восходящей капиллярной инфильтрации солончатых вод. Обычно это проявляется при повышении уровня грунтовых вод, в связи с искусственным увлажнением почв, непременно сопутствующим деятельности ирригационных систем.

Сюда же могут быть отнесены и пока еще начально исследуемые научные представления о ресурсовоспроизводящих технологиях, в том числе с перераспределением полезного компонента и образованием локализованных зон его концентрирования, что в принципе позволит организовать доработку забалансовых и потерянных запасов на ранее разрабатываемых месторождениях.

Таким образом, подобное понятие памяти природных систем является их общей закономерностью. Оно распространяется не только на вещественные компоненты этих систем, но и на их морфологические особенности образуемых ими физических тел.

Примером этого могут служить исследования совокупной памяти ландшафтов достаточно продолжительного периода времени, поскольку они еще в большей мере способны хранить информацию о своем прошлом, как в устройстве морфолитогеогенной основы, в почвах, растительности и животном мире. По мнению В. А. Николаева [3], в их объемной структуре сосуществуют и взаимодействуют элементы разного генезиса и возраста. Отсюда характерные черты эволюции ландшафтов — полигенез и метахронность.

Ими фиксируются не только эволюционные генетические образы прошлого, но и радикальные революционные преобразования, относящиеся к категориям редких, но масштабных событий, происходящих на фоне постепенных климатических и сопутствующих им других природных изменений.

В первом случае ландшафты фиксируют смену периодов аридизации и гумизации, разных образов физико-географических обстановок прошлого и, соответственно, схем развития водных бассейнов,

подобных понто-каспийским событиям плейстоцена-голоцена, а также многим другим географическим преобразованиям поздней истории регионов. Реставрируются по ним и крупные антропогенные воздействия на естественные системы, как это следует, например, из археологических открытий «Страны городов» по пастбищно-дигрессионной памяти, оставленной скотоводческими «древнеарийскими» племенами в Южном Зауралье [3].

Во втором случае в памяти ландшафтов остаются следы крупных радикальных преобразований массивов воздействий, приведших к коренной перестройке природных систем с серьезными негативными последствиями типа «пыльных котлов». Как это случилось во второй половине прошлого века, когда в азиатских степях между Южным Уралом и Алтаем сформировался громадный массив почвенных залежей — наследие знаменитой целинной эпопеи в Советском Союзе. Здесь ландшафты сохранили следы одной из крупных экологических катастроф XX столетия.

Несмотря на длительные дискуссии об особенностях понятий ландшафтов и экосистем, коренных отличий между ними, за исключением эгоцентрических, так и не было выявлено. И то, и другое понятие объективно близки друг другу. Они учитывают комплексы сред (воздушной, водной, литогенной), специфику развития флористических и фаунистических ассоциаций, которые, в общем-то, идентичны. Иногда их различное толкование усматривают в способе отграничения одних от других, в частности, в разнице граничных условий, т. е. преимущественно в характере подхода к этим системам. Или, по существу, в направленности исследований: природоведческих в первом случае и собственно экологических — во втором.

Поэтому к понятию «экологическая память» относятся все доказательные моменты, которые аргументированы представлениями о ландшафтной памяти. Но есть и существенное отличие: первые являются преимущественно эволюционными, учитывающими всю историю преобразования систем. Вторые обращены к кардинальным событиям резкого изменения состояния этих систем с существенным нарушением их естественного природного равновесия.

Соотношение потенциалов разрушения и восстановления экологических систем. Говоря о памяти как факторе саморазвития с ретроградной тенденцией преобразовательных процессов в экосистемах, мы невольно подразумеваем их принципиальное сопоставление в ходе процессов их разрушения и восстановления.

Деструкция природных экосистем вначале может затронуть их наиболее уязвимые, преимущественно периферийные участки. Так, процесс акабальтоза в лесах Швейцарских Альп под воздействием увеличения в атмосфере концентраций двуокиси

серы техногенного характера начинался с легких хронических заболеваний у елей в трудных высокогорных условиях. Постепенно достигалась пороговая величина загрязнений с повреждениями растений уже в нижних частях гор на высотах свыше 800 м. Нарастала тяжесть заболеваний, сопровождавшаяся потерями прироста и самоизреживанием насаждений, которые порой едва достигали возраста жердняка.

Ф. Корте [4] приводит следующую общую схему химических воздействий на экосистемы по степени возрастания вредных воздействий.

Вначале уничтожаются отдельные виды растений и животных. Уменьшается видовое разнообразие организмов. Загрязнение обретает массивный характер. Биотопы характеризуются постоянством аномального состояния. Происходят их глубинные изменения. Наступает полное крушение системы в результате выпадения целостной интактной (нетронутой) структуры исходного биотопа и деградации его функций.

Экологические (биоэкологические) критерии нарушенных экосистем, характерные для нижних уровней их организации, перерастают в геоэкологические, свойственные системам наиболее высоких уровней организации, включая геосферные.

Вне зависимости от характера подобного воздействия (природного и антропогенного) в этом случае в стратиграфической летописи различного масштаба фиксируются горизонты и слои, свидетельствующие о региональных и полуглобальных (массовых) вымираниях органических сообществ. При этом, как показывают многочисленные исследованные события, восстановление экосистем никогда не достигает исходного уровня своих предшественников, поскольку уровни естественного равновесия с течением времени постоянно снижаются, и фиксируются уровни равновесия самого различного масштаба.

Относительно систематизированы данные по наиболее пораженным радиацией крупным загрязненным территориям, которые показывают продолжающуюся дифференциацию распространения радионуклидов по площадям различного импактного воздействия и ландшафтными фациями, а также на глубину почвенно-подпочвенных зон.

Установлено, что в хронически облучавшихся травянистых ценопопуляциях растений (например, подорожника) ВУРСа отмечается высокий уровень инбридинга, происходит увеличение мутабельности потомства, причем самой импактной зоне присуща более низкая изменчивость ген-ферментных локусов [5].

В слабонарушенных почвах автономных позиций Чернобыльской зоны мало что изменилось в радиоактивном отношении за прошедшие 20 лет после катастрофы 1986 г., тогда как в распаханых почвах более половины запасов ^{137}Cs уже было перемещено из корнедоступного слоя трав [6].

Здесь же у мелких млекопитающих животных за первое десятилетие после радиоактивного воздействия произошло одно-двухпорядковое снижение удельной активности организмов и такое же уменьшение коэффициента перехода в цепи «почва-животное» [7]. А в последующее десятилетие эти процессы относительно стабилизировались. Предполагается, что дальнейшая динамика радиоактивного загрязнения будет определяться только механизмом радиоактивного распада ^{90}Sr и ^{137}Cs [8].

Многое зависит от селективной выживаемости особей и динамики их миграционной активности [9; 10].

Но дело не ограничивается только скоростями полураспада радиоактивных нуклидов, а и временем вывода чуждых и вредных элементов из экосистем. По аналогии с методами расчетов периодов полураспада радиоактивных изотопов исследуются продолжительности полувыведения тех или иных токсикантов из экологических систем. Это усложняет наши представления о продолжительности периодов восстановления систем в зависимости от соотношения этих факторов.

На «геохимический передел мира» в связи с антропогенным воздействием на природные системы особое внимание обращал еще В. И. Вернадский, предупреждая человечество об опасности его дальнейших трансформаций. Однако подобный же «геофизический передел» почти не поддавался системному анализу. А он имеет не меньшее значение для существования биосферы в целом.

Особенно он значим в связи с все более интенсивным использованием атомной энергетики. Техногенная радиоактивность, обусловленная атомными энергетическими установками и наведенной активностью продуктов ядерных взрывов, существенно отличается от природной радиоактивности земной коры. И та, и другая характеризуются иным составом, а главное — иными соотношениями радиоактивных элементов между собой. В природе мы не находим надежных полных аналогов геохимических обстановок, свидетельствующих о распадных комплексах взрывных явлений, подобных производству современных наземных ядерных взрывов, хотя допущение их не исключено.

К сожалению, человечество включилось в массовое использование атомной энергетики, не решив даже принципиально проблему захоронения этих отходов, которые при эксплуатации ядерной энергии должны обеспечить их сохранность на многие сотни лет. Теория безопасности хранения высокорadioактивных отходов по существу еще только создается. Намечены лишь ее морально-этические принципы [11]. Во-первых, образование этих отходов должно осуществляться на практически минимально достижимом уровне («не навреди»). Во-вторых, для поддержания состояния «статус-кво»

сохранения стабильности общей суммы радиоактивности в земной коре, с учетом не превышения ее накоплений в глобальном и региональном плане, едва сформулирован принцип радиационной эквивалентности. Согласно ему необходимо возвращать в землю с отходами такой объем радиоактивности, который не превышает того, который был изъят из земли вместе с урановой рудой. Этим определяются количество, качество и сроки захоронения радиоактивных отходов от переработки отработавшего ядерного топлива. Захоронение их возможно лишь при условии предварительной переработки с энерговыделением по вредности в сотни-тысячу раз меньшим, чем перед переработкой. Сжигать придется не только уран, но и сопутствующие ему уран и торий, а также америций, кюрий и технеций после их глубокого извлечения. Для этого потребуются выдержка отработавшего ядерного топлива в течение первых сотен лет до их полного захоронения. В местах захоронения необходимо добиться сохранения температурного градиента земной коры, соответствующего его природным условиям, а также выполнения требования не нарушить энергонасыщенность вмещающих пород в регионе захоронения. Непосредственно само полное захоронение должно обеспечивать изоляцию отходов в течение 10 тыс. лет и более.

Важно отметить, что поражение и крушение экосистем имеет устойчиво стадийный характер. При этом в случаях разрушения систем их деградация может осуществляться по поэтапному и катастрофическому сценариям, а при восстановлении экосистем переход к более высокой организованности всегда будет оставаться последовательно стадийным. Это необходимо специально подчеркнуть, учитывая принцип устойчивых патологических ситуаций, обоснованный ранее Н. П. Бехтеревой [12].

Экологическая чистота. Уже приходилось останавливаться на приложимости этого принципа, исследованного на уровне мозговой деятельности человека, к любым другим сложным экологическим системам. Действительно, если мы обратимся к анализу разрушения и потенциального восстановления нарушенных экосистем, то неизбежно придем к выводу о возможности подобного действия только путем устойчивой последовательной их реабилитации от более ущербного состояния к более активному и нормализованному. Следовательно, в качестве отправной позиции подобных оценок нам следует сравнивать реальное состояние функционирования

экологических систем не со здоровыми, а с наиболее ослабленными, нарушенными и вместе с тем еще пригодными для оздоровления системами. Все зависит от глубины подобных нарушений, от их масштабности.

С этой точки зрения, естественно, настораживает ход разрастания новых недостаточно обоснованных и апробированных массовых технологий. В настоящее время мы в ряде случаев столкнулись с доминированием крайне опасных технологий преимущественно энергетической направленности, обусловленных фактическим доминированием диктатуры экономики над экологическими доминантами. Благополучие при этом становится предпочтительней принципов жизнеобеспечения общества.

В качестве примеров можно привести крупнейшие экологические катастрофы последнего времени, включая ядерную трагедию Фукусимы в Японии, которая во много раз превзошла даже чрезвычайно страшные по последствиям Чернобыльские события, к сожалению, не послужившие человечеству решительным предупреждением на этом пути развития. Переход нефтегазодобычи из области мелкого шельфа к более глубоководным месторождениям сразу же повлек за собой ужасную экологическую катастрофу на Американском континенте — массовое загрязнение нефтью (вероятно, свыше 350 тыс. т) вод Мексиканского залива. Пугающие ранее крупные аварии танкерных судов типа «Торри Кэньон», с излияниями нефти в морские воды в объемах тысяч-десятков тысяч тонн, ныне представляются нам почти незначительными.

Обозначения катастрофичности аварийных событий и экологической чистоты без четких критериев их определения становятся расхожими общими фразами, удобными для действующих властей и доминирующих политиков, и нуждаются в существенном объективном уточнении.

В частности, придание подобной объективности возможно с представленных в статье позиций о значении экологической памяти. Ранжирование местностей по их экологическому состоянию может и должно быть скоординировано по этому принципу. Перевод территорий из категорий грязных и загрязненных в чистые возможен лишь при условии существенного стирания этих свидетельств из экологической памяти экосистем. Соблюдение этого правила не позволит манипулировать указанными понятиями по собственному умыслу.

Библиографический список

1. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь // Избр. соч. — Т. 2. — М., 1949.
2. Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. — М., 2008.

3. Николаев В. А. Память ландшафта // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2013. — № 1.
4. Корте Ф. Экологическая химия. Основы и концепции. — М., 1997.
5. Молчанова И. В., Караваева Е. Н., Михайловская Л. Н., Позолотина В. Н., Лобанова Л. В. Барьерно-регулирующая роль пойменных почв в миграции радионуклидов (на примере речной системы Теча-Исеть) // Экология. — 2003. — № 4.
6. Позолотина В. Н., Молчанова И. В., Михайловская Л. Н., Ульянова Е. В. Современные уровни радионуклидного загрязнения ВУРСа и биологические эффекты в локальных популяциях *Plantago major* L. // Экология. — 2005. — № 5.
7. Маклюк Ю. А., Максименко А. М., Гащак С. П., Бондарьков М. Д., Чижевский И. В. Многолетняя динамика радиоактивного загрязнения (^{90}Sr , ^{137}Cs) мелких млекопитающих в Чернобыльской зоне // Экология. — 2007. — № 3.
8. Квасникова Е. В., Жукова О. М., Гордеев С. К., и др. Цезий-137 в почвах ландшафтов через 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС // Известия РАН. Сер. геогр. — 2009. — № 5.
9. Вершинин В. Л. Специфика жизненного цикла *R. arvalis* Nilss. на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа // Сибирский экологический журнал. — 2007.
10. Григоркина Е. Б., Оленев Г. В., Модоров М. В. Анализ населения грызунов в районах техногенного неблагополучия (на примере *Apodemus* (S.) *uralensis* из зоны ВУРСа) // Экология. — 2008. — № 4.
11. Никипелов Б. В. Естественная безопасность захоронения радиоактивных отходов // Вестн. УО РАН. Наука. Общество. Человек. — 2004. — № 1.
12. Лузгин Б. Н. Патологические аспекты экологической оценки качества окружающей среды // Природно-ресурсный и экологический потенциал Сибири. — Барнаул, 2010.