

УДК 574.2

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ И ВОПРОСЫ ИХ ОЦЕНКИ

© 2017 г. Ж.В. Кузьмина

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru

В статье показано, что динамические изменения в экосистемах могут возникать либо в связи с причинами внутреннего саморазвития, либо в связи с внешним воздействием на экосистемы. В настоящее время внешнее воздействие является определяющим в динамике экосистем, оно может быть естественным (природным, космическим), или неестественным (антропогенным). Оценка динамических изменений в экосистемах может быть выполнена как целостно, т.е. для всей экосистемы в общем (например, при картографическом анализе), так и покомпонентно, т.е. отдельно для каждой из компонент (или группы компонентов) экосистем. Проблема выявления и оценки динамических изменений в экосистемах очень сложна, а ее решение – важнейшая задача современности. Даны основные результаты разработок покомпонентных оценок динамических изменений наземных экосистем в условиях изменения водного режима территории в результате естественных и антропогенных причин.

Ключевые слова: наземные экосистемы, компоненты экосистем, динамика экосистем, оценка трансформации экосистем.

Экосистема – это функциональное единство живых организмов и среды их обитания. Экосистема безранговое понятие ею является и капля воды, и биосфера всей планеты в целом (Шукин, 1980; Данилов-Данильян, 2017). Биосфера, как область жизни организмов охватывает нижнюю атмосферу, гидросферу и верхнюю часть литосферы. Поэтому в экосистеме следует рассматривать как живые компоненты (растительность, животное население, микроорганизмы и т.д.), так и неживые или условно живые компоненты (верхнюю часть атмосферы, гидросферу, верхнюю часть литосферы и почву). Под динамикой экосистем понимается ход развития или изменения экосистем или их отдельных компонентов. Существуют две основных группы причин, вызывающих динамические изменения в экосистемах – это внутренние причины саморазвития и внешние причины, связанные с изменением окружающей среды. А поскольку наша планета является незамкнутой системой, то пусковыми и главными механизмами динамики экосистем являются внешние изменения, т.е. происходящие в среде обитания живых организмов – в биосфере. При активном изменении внешних факторов воздействия на экосистемы, внутренние причины изменения экосистем отходят на второй план. Среди внешних причин воздействия на динамику экосистем можно выделить два основных направления: естественные причины и неестественные причины. К естественным внешним воздействиям на динамику экосистем можно отнести геологические, геоморфологические, климатические и гидрологические, связанные с существованием и саморазвитием планеты Земля. К неестественным причинам возникновения динамических изменений в экосистемах, прежде всего, относится антропогенная деятельность человека. При этом антропогенная деятельность по своему воздействию на экосистемы может иметь как прямой, так и косвенный характер. Так, например, рекреационное вытаптывание, перевыпас, городское строительство и другие подобные виды прямой направленной человеческой деятельности приводят к очень быстрому и заметному уничтожению и разрушению естественных экосистем. В то время, как некоторые виды деятельности, такие как гидротехническое

строительство, электромагнитное, тепловое и радиационное излучение и др., могут приводить к трансформации и исчезновению экосистем не сразу, а лишь через некоторое, часто довольно значительное время. Экосистемы начинают трансформироваться только после того, как будет стабильно превышен предел допустимых возможных значений их основных лимитирующих факторов среды. Такие виды антропогенного воздействия относятся к косвенным, т.е. приводящим к изменениям не сразу и не прямо, а опосредованно, либо через какое-то время, либо через воздействие на подчиненные зависимые компоненты среды. В таком случае встает очень важный и практически значимый вопрос о возможности оценки динамических изменений экосистем и их компонентов в условиях совокупного воздействия естественных и антропогенных причин, причем антропогенное воздействие может быть как прямым, так и косвенным, а естественные причины, как внешними, так и внутренними. Каким образом можно учитывать все эти факторы? И можно ли их вообще все учесть?

Решение этой проблемы не возможно без качественного разграничения и разделения проявлений в экосистемном покрове влияния естественных (например, климатических) и антропогенных факторов: водохозяйственной деятельности, рекреации, сельского и лесного хозяйства, пожаров, загрязнений от производств и транспорта и др. Чрезвычайно важно установить тенденции глобальных и региональных естественных (или условно естественных) воздействий и локальных или региональных антропогенных, и, особенно, гидротехнических воздействий, поскольку подчас эти изменения носят как однонаправленный, так и противоположно направленный характер и должны учитываться в совокупном воздействии на экосистемы, особенно при планировании и создании новых гидротехнических сооружений (Kouzmina, 2004; Kouzmina et al., 2004, 2005).

Лаборатория Динамики наземных экосистем под влиянием водного фактора Института водных проблем Российской академии наук, которую возглавляет автор, занимается лишь одним из многих направлений в исследовании динамики экосистем и их компонентов. Основными объектами исследований коллектива являются наземные экосистемы, расположенные в зоне непосредственного влияния открытых водоемов, т.е. это экосистемы и их компоненты, находящиеся на пойменных, долинных, прибрежных и часто водораздельных территориях.

Таким образом, исследования лаборатории, в первую очередь, направлены на изучение динамики экосистем под влиянием изменения водного режима территорий, который в свою очередь зависит от изменений климата и гидротехнического (антропогенного) воздействия.

Возможность оценки динамических изменений в экосистемах

В последнее время среди естественных внешних факторов особенно сильно стало проявляться климатическое воздействие на экосистемы (Оценочный доклад об изменениях климата ..., 2008; Второй оценочный доклад ..., 2014; Climate Change, 2013; Кузьмина, 2007; Кузьмина, Трешкин, 2009). При этом внешнее неестественное антропогенное воздействие как прямое, так и косвенное только усиливается, в том числе связанное с гидротехническим строительством (Кузьмина и др., 2011а, б, 2015а; Кузьмина, Трешкин, 2010, 2012б; Kuzmina, Treshkin, 2012).

Особенности климатических условий, которые в последние десятилетия довольно нестабильны, привели к тому, что вопросы динамических изменений в экосистемах в настоящее время стали чрезвычайно актуальными.

Новые гидротехнические сооружения и регулирование рек на большом протяжении могут привести к полному изменению растительного покрова долин и пойм рек, что в свою очередь будет способствовать изменению структуры сельскохозяйственного использования территорий, изменению численности и ареалов распространения (а часто утрате) многих

ценных эндемичных, промысловых и редких видов растений и животных, изменению почвогрунтовых условий прилегающих территорий (Henrichfreise, 1996, 2000; Kouzmina, 2004; Kouzmina et al., 2004, 2005). Долины и поймы рек в Западной Европе интенсивно освоены очень давно, в отличие от России, где они использовались больше на юге страны. Изменения окружающей среды в долинах рек в связи с климатическими флуктуациями может затронуть значительную часть населения стран Западной и Восточной Европы (Dister et al., 1990; Dister, Henrichfreise, 2009).

Поймы рек в России, традиционно использовались менее интенсивно, чем автоморфные и водораздельные территории. С этим связано также и их меньшая изученность по сравнению с зональными территориями. Однако, в условиях изменения климата долинные и пойменные территории России и, прежде всего, особо охраняемые природные территории, как наименее затронутые антропогенным воздействием, должны стать основными полигонами, на которых уже сейчас будет возможно изучить достоверные проявления климатических изменений в экосистемном покрове территорий и создать реально действующие модели прогнозных изменений экосистем как на ближайшую, так и на отдаленную перспективу. Особенно актуально это в связи с тем, что в Западной Европе практически не осталось ненарушенных или слабонарушенных долинных территорий, не подверженных антропогенному регулированию стока, которые бы могли стать полноценными полигонами для изучения влияния собственно климатических и, связанных с ними, гидрологических изменений.

Сегодня естественные процессы, связанные с климатическими изменениями на Европейской равнине, большей частью, приводят к увеличению обводненности территорий. В тоже время, повышение обводненности территорий является главным следствием воздействия гидротехнических сооружений (Антропогенные ..., 2003; Шульга, 2002; Henrichfreise, 2000), особенно средне- (СГС) и низконапорных (НГС; Кузьмина, 2005, 2007а).

Основными факторами и процессами вызывающими негативные изменения пойменных экосистем при гумидном потеплении климата, а также в результате воздействия любых гидротехнических сооружений являются: стабилизация режима УГВ в поймах (из-за выравнивания УВ в реках), климатическое подтопление (в результате увеличения выпадения атмосферных осадков; фото 1-3), изменение паводкового затопления (в основном сокращение), повышение (для НГС) или понижение (для СГС и ВГС) общей обводненности поймы, изменение характера и интенсивности почвообразования (повышение или понижение оглеения (фото 4) и/или ожелезнения, увеличение засоления (фото 5), появление отақыривания и др.). Эти процессы приводят к нарушению структурно-функциональной организации экосистем и развитию сукцессионных смен. Глубина и скорость трансформации экосистем зависит от интенсивности и продолжительности антропогенного воздействия или климатических изменений (Кузьмина, Трешкин, 2012а, б; Кузьмина и др., 2011а, б, 2013, 2015а).

Основными биологическими проявлениями нарушений при современных тенденциях климатических и гидротехнических изменений в долинных экосистемах зон широколиственных лесов, лесостепей, степей и пустынь будут (Кузьмина, 2007а, Кузьмина, Трешкин, 2011, 2012а):

- уменьшение видового разнообразия (в 2-4 раза от первоначального в лесах и на лугах (фото 6-7); как общего многолетнего состава, так и ежегодного количества видов растений на отдельной модельной площади на последних стадиях нарушений);
- сокращение продуктивности лугов (в 3-4 раза на последних стадиях нарушений);
- изменение состава экосистем: образование маловидовых, монодоминантных или сорнотравных лугов (фото 8-10), непригодных для производства кормов; замена естественных типичных пойменных лесов (ивовых, вязово-дубовых, липово-дубовых,

дубовых, туранговых, лохово-туранговых) на травяные и сорнотравные экосистемы или на нетипичные (ольховые, ясеневые, солончаковые, пустынные) сообщества;

- сокращение флуктуационной изменчивости в сообществах (как на лугах, так и в лесах).

При сохранении современных тенденций климатических изменений эти же биологические проявления нарушений в экосистемах будут характерными и для прежних автоморфных и полугидроморфных территорий, на которых ранее отмечалось неглубокое (5-7 м) залегание грунтовых вод (Кузьмина, Трешкин, 2012а).



Фото 1-2. Вывал древостоя в березово-еловом лесу на водораздельной поверхности в долине р. Кильма (бассейн верхней Волги) в результате климатического подтопления (из-за увеличения количества выпадающих атмосферных осадков), когда УГВ в летнюю межень 2012 г. составил 137 см (здесь и далее фото автора).

Сегодня прогноз динамики экосистемного покрова под влиянием климатических изменений является чрезвычайно важной задачей. Её решение будет способствовать не только сохранению естественных экосистем на охраняемых территориях, но сможет определить также новую ориентацию многих важных отраслей народного хозяйства (лесное, сельское, водное, строительство в целом и др.) в условиях меняющегося климата.

Но прежде чем давать прогноз динамических изменений экосистемного покрова нашей страны и всей планеты, необходимо разработать систему оценки трансформаций экосистем (как в целом для самой экосистемы, так и для отдельных ее живых, условно живых и неживых компонентов) в изменяющихся условиях среды под влиянием природных и антропогенных факторов. Эта задача носит глобальный характер и, пока, ее решение не кажется простым и однозначным.

При определении и разработке показателей и критериев оценки состояния экосистемы и

возможной допустимой нагрузки на нее, прежде всего, нужно решить, что является оптимальным, т.е. обычным или нормальным состоянием для той или иной экосистемы. И тут важно определить к какому типу экосистем относятся водные и наземные околоводные (пойменные, долинные и прибрежные экосистемы). При этом для широко распространенных зональных наземных экосистем (таких, например, как таежные хвойные, широколиственно-лесные, степные, пустынные и др.) основным лимитирующим фактором является термический режим, который определяется природной географической зональностью. При этом обычно, для этих зональных экосистем нормальным считается климаксовое состояние, т.е. стабильное состояние сообщества, являющееся конечным в развивающейся сукцессии, которое может существовать неопределенно долго, поскольку оно находится в равновесии с физической средой (Данилов-Данильян и др., 2002). Однако следует заметить, что экосистемы в настоящее время практически нигде не находятся в равновесном состоянии, а постоянно претерпевают сильнейшие изменения. В основном, это происходит из-за сильного антропогенного воздействия на экосистемы, а также в результате сильного влияния на экосистемы последствий изменения климата (Кузьмина, Трешкин, 2010; Кузьмина и др., 2011а, б).



Фото 3. Климатическое подтопление (из-за увеличения количества выпадающих атмосферных осадков) на водораздельной поверхности р. Павловка (бассейн Верхней Волги), когда уровень грунтовых вод на зарастающем лугу (заброшенном после 1990-х годов поле) в летнюю межень – 29 июля 2015 г. составил 0.75 м.



Фото 4. Сильное оглеение с глубины 100 см в почвах левого берега р. Дубны в дубовом массиве Окоемово на верхней пойме сформировалось в результате подтопления от совокупного воздействия естественных (климатическое подтопление) и антропогенных (неправильные гидромелиоративные и гидротехнические мероприятия) причин.



Фото 5. Гидроморфные солончаки (при УГВ менее 3 м), образующиеся в результате мелиоративной деятельности, приводят к полной деградации растительности и почв в дельте и пойме Амударьи (06 октября 2008 г.).



Фото 6. *Polygonum amphibium* – горец земноводный (наземная форма) на лугах верхней поймы реки Саале (верхний бьеф плотины Кальбе, Германия, июнь 1996 г.) образует слияние очагов и/или отчасти равномерное распределение вида по площади с обилием сор1, что соответствует 4-ой – сильной степени нарушения экосистем при которых для их восстановления нужны мероприятия по изменению гидрологического режима реки.



Фото 7. Меандровое понижение на верхней пойме правого берега р. Волги в урочище Солёное займище (бассейн Нижней Волги) под маловидовым сорнотравно-дурнишниковым растительным сообществом (Ass. *Xanthium albinum*–*Schoenoplectus* sp.–*Echinochloa crus-galli*, разрез № 7) с межвенной (летней) глубиной грунтовых вод 1.5 м так же относится к 4-ой сильной степени нарушения экосистем, для восстановления которых нужны мероприятия по изменению гидрологического режима реки.



Фото 8. Монодоминантные сообщества дурнишника (*Ass. Xanthium albinum*) на втором пойменном уровне в устье полностью зарегулированной реки Саале (Германия, август 1997 г.) соответствуют 5-ой – очень сильной степени нарушения экосистем, для восстановления которых нужны мероприятия по изменению гидрологического режима реки.



Фото 9. Маловидовые сорнотравные с абсолютным доминированием бодяка (*Ass. Cirsium arvense*) сообщества на верхней (третьей) пойме полностью зарегулированной реки Саале (верхний бьеф плотины Кальбе, Германия, август, 1997 г.) так же соответствуют 5-ой – очень сильной степени нарушения экосистем; необходимо изменение гидрологического режима реки.



Фото 10. Сорнотравные луга с доминированием *Cirsium arvense* на верхней пойме (или на третьей пойменной террасе) р. Вьюлки (бассейн Верхней Волги) образовались в результате климатического подтопления (из-за увеличения количества выпадающих атмосферных осадков) и соответствуют 4-ой степени нарушения экосистем, для восстановления которых нужны существенные гидромелиоративные мероприятия (Московская обл., Талдомский р-он, 20 июля 2010 г.).

Основным лимитирующим, определяющим формирование и развитие водных и околоводных наземных экосистем является водный фактор, в связи с чем все водные и околоводные экосистемы относятся к интразональному типу экосистем, т.е. для которых термический фактор является подчиненным. Характеризуя интразональный характер экосистем речных долин и дельт, А.А. Аширова (1976) указывала на то, что, в целом, интразональные экосистемы часто абсолютно не схожи с зональными, расположенными территориально в непосредственной близости от них, и, на первый взгляд, вроде бы не подчиняются зональным закономерностям распределения экосистем, как, например, пустынные разреженные травяно-кустарничковые экосистемы высотой не более 0,5 м (зональные) и полноценные туранговые леса высотой до 20 м (интразональные). Однако, при этом она подчеркивала, что все пойменные и долинные экосистемы обладают “зональной интразональностью” (Аширова, 1976). Учитывая интразональный характер рассматриваемых долинных экосистем, а также сильный антропогенный пресс и влияние на них климатических изменений наиболее целесообразно рассматривать экосистемы используя представления В.Б. Сочавы (1972, 1979) об эпитаксах, как системе коренного сообщества (экосистемы) или (материнского ядра) и связанных с ним переменных состояний, которые можно сгруппировать в естественные серийные (т.е. последовательные смены/сукцессии экосистем в процессе динамики) и трансформационные ряды (т.е. производные экосистемы, возникающие при антропогенных и других спонтанных природных нарушениях, например, вулканических, климатических и т.п.).

При этом, необходимо отметить, что водные и околоводные наземные экосистемы (к которым относятся пойменные и долинные) имеют одно общее отличие от зональных экосистем – это чрезвычайная естественная динамичность их существования (возникновения, формирования, исчезновения) связанная с динамичностью проявления русловых и гидрологических процессов в долинах рек и озер. Так, например, для рек аридных регионов, таких как, Амударья, Сырдарья, Атрек, Сумбар, Зеравшан и др., вновь образованные наносами рек в русле и пойме совершенно голые отмели (кайры) заселяются растительностью и животными уже в первый год своего образования. В зависимости от близости тех или иных сообществ формируются или высокотравные луга или древесно-кустарниковые сообщества, при этом, уже в первый год кустарники могут достигать до 1 м в высоту, к четверем годам – это уже густые заросли 3-5 м высотой, к 20 годам образуются полноценные древесные тополевые (из туранги) древостои высотой до 20 м, которые к 40-60 годам начинают отмирать (Закртегер, 1927; Дробов, 1951; Трешкин, 1990). В то время как зональные лесные экосистемы, например, из дуба или ели могут существовать более 300 лет. Изменение условий увлажнения в долинах и дельтах рек приводит к быстрым изменениям в экосистемах (Novikova et al., 1998, 2001; Трешкин, Кузьмина, 1989, 1993; Панкова и др., 1994, 1996; Кузьмина, Трешкин, 1999, 2001, 2003; Кузьмина, 2005; Kouzmina, 2004; Kouzmina et al., 2005; Кузьмина и др., 2011a, 2011b). Такой быстрый жизненный цикл пойменных и долинных экосистем является адаптацией интразональных экосистем к чрезвычайно динамичной среде обитания, в которой, из-за изменения условий среды, происходит быстрый размыв речных берегов, с одной стороны, и намыв их, с другой. Такое ускорение жизненного процесса в наземных околоводных экосистемах происходит постольку, поскольку для водных и околоводных экосистем основным фактором, который лимитирует их существование является динамичная геолого-гидрологическая деятельность водного объекта, который, в основном, и определяет возникновение, формирование и исчезновение экосистем. Динамичность интразональных экосистем проявляется не только в чрезвычайно быстром изменении их структурно-функциональной организации во времени. Такая же динамичность присуща и пространственному расположению наземных околоводных экосистем. Повышенная пестрота (или чередование) различных пойменных и долинных

экосистем на местности часто является препятствием к их подробному изучению, а при картографировании обычно все пойменно-долинные экосистемы обозначаются одним выделом (и/или цветом). Это существенным образом отличает интразональные водные и околородные наземные (пойменные, долинные, прибрежные) экосистемы от зональных наземных экосистем.

Таким образом, мы определили, что наши наземные околородные экосистемы интразональны и чрезвычайно динамичны во времени и пространстве. Каким же образом определить их состояние (в том числе и норму), в то время как они находятся в непрерывном изменении? Обычно, в случае водных экосистем понятие климакс заменяется понятием зрелости сообщества, которое определяется по повышенному видовому и трофическому разнообразию, по сбалансированности продукции и потребления органического вещества (Данилов-Данильян и др., 2002). Однако, при рассмотрении наземных околородных экосистем, в отличие от водных, следует больше учитывать возрастные стадии экосистем (особенно кустарниковых и древесных) и их автогенные (т.е. внутренние) причины развития, поскольку наземные околородные экосистемы все же менее динамичны, чем водные.

Как видим, при оценке наземных экосистем основные трудности состоят в том, что в экосистемах в связи с их естественной динамичностью, сильным антропогенным воздействием и влиянием климатических изменений повсеместно для каждой экосистемы выделяется большое количество переменных состояний, связанных в том числе и с естественными внутренними процессами роста (например, возрастные стадии лесов и т.п.) – или сукцессий, которые при благоприятном стечении обстоятельств могут привести их в состояние чем-то отдаленно напоминающее климакс – или по представлениям В.Б. Сочавы (1972, 1979) – к материнскому ядру экосистемы.

Основные результаты исследований лаборатории по динамике экосистем

В последние годы (2012-2017) для коллектива лаборатории основной задачей стала разработка оценочных диагностических показателей и критериев динамики экосистем для основных живых (растительных и животных), неживых (климатических, гидрологических) и условно живых (почвенных) ее компонентов в условиях изменения водного режима территории при совокупном воздействии естественных и антропогенных гидрогенных факторов.

В результате выполнения исследований были определены и разработаны оценочные показатели и критерии как для живых так и для неживых компонентов экосистем.

Таким образом, климатические изменения, влияющие на наземные экосистемы предлагается оценивать на основании динамического географического показателя – *Относительного коэффициента изменений* (ОКИ) основных климатических характеристик (ОКИ осадков и ОКИ температуры воздуха), который представляет собой отношение модуля изменения трендовых значений температуры (или осадков) за многолетний период (с момента открытия станции) к модулю амплитуды колебания фактических (измеренных) значений этого параметра в многолетнем аспекте (Кузьмина, Трешкин, 2014, 2016а, б).

При установлении наличия климатических изменений, способных повлиять на наземные экосистемы, совокупное воздействие изменений осадков и температуры воздуха (влажностно-температурного режима) предлагается оценивать по *Индексу засушливости Педя₁* ($I_{Педя1}$; Педь, 1975; Переведенцев и др., 2008, Кузьмина, Трешкин, 2014, 2016а), который рассматривает аномалии температуры и осадков тренда по отношению к базовому периоду (1961-1990 гг.) и его модифицированному варианту – $I_{Педя2}$ (Кузьмина, Трешкин, 2014, 2016а), который оценивает отклонение от среднего уровня средней температуры воздуха и суммы осадков за весь многолетний период наблюдений, с момента

открытия станции.

Гидрологические (естественные) изменения под влиянием изменения климата, способные повлиять на наземные экосистемы также предлагается оценивать по Относительному коэффициенту изменений (ОКИ) основных гидрологических характеристик (ОКИ средних, ОКИ максимальных и ОКИ минимальных расходов и уровней воды в реках) за многолетний период, по такому же принципу расчета как и для основных климатических характеристик (Кузьмина, Трешкин, 2012в, 2014, 2016а, б), т.е. – как отношение модуля изменения трендовых значений уровней и расходов воды за многолетний период к модулю амплитуды колебания фактических (измеренных) значений этих параметров в многолетнем аспекте.

Гидротехнические (антропогенные) изменения предлагается оценивать по изменению (как правило, по сокращению) частоты и высоты заливания пойменных территорий в нижнем бьефе, а также по высоте и длительности подтопления территорий в верхнем бьефе (Кузьмина, Трешкин, 2012б; Кузьмина и др., 2013; Новикова и др., 2005, 2015; Novikova et. al., 1998, 2001);

Оценку изменений почвенной компоненты экосистемы под воздействием изменений водного режима территории (т.е. при совокупном воздействии естественных и антропогенных гидрогенных факторов) предлагается оценивать по степени и мощности оглеения (т.е. величине оглеенного горизонта в см и количества самих оглеенных горизонтов, а также по соотношению в % оглеения и ожелезнения по фону в оглеенных горизонтах) и глубине залегания оглеенных горизонтов в почвах (Кузьмина, 2007а; Кузьмина и др., 2011а, б; Новикова и др., 2015, 2016).

Нарушенные экосистемы предлагается разделять по типу и степени нарушенности. На основании наличия или отсутствия климатических (естественных) изменений, а также гидрологических естественных или гидрологических антропогенных (гидротехнических) изменений и их совокупностей, можно выделять экосистемы разных типов нарушений: естественно нарушенные экосистемы (при естественных климатических и гидрологических нарушениях и их совместном влиянии), антропогенно нарушенные экосистемы (экосистемы нарушенные в результате гидротехнического антропогенного воздействия), смешанно нарушенные экосистемы (при совокупном воздействии естественных и антропогенных нарушений). Для каждого типа нарушенности экосистем выделяются три степени нарушений: слабая, средняя, сильная (Кузьмина и др., 2013).

Оценку нарушений от естественных (климатических) и антропогенных (гидротехнических) причин одной из основных живых компонент экосистем – растительности (являющейся эдификатором наземной экосистемы) предлагается проводить на основании нескольких биологических показателей (Кузьмина, 2007а; Кузьмина и др., 2015б). Основные биологические показатели предлагается разделить на две совокупности – динамические и стабильные. К динамической группе биологических показателей относятся показатели с постоянно изменяющимися (как минимум ежегодно) значениями. Они отражают направления и процессы в изменении увлажненности (обводненности) территории как от антропогенного, так и от естественного (климатического) воздействия. К динамическим показателям относятся: 1) изменение видового разнообразия растительных сообществ за многолетний период и 2) их ежегодная флуктуационная изменчивость. К стабильной совокупности биологических показателей относятся показатели обычно изменяющиеся во времени не сразу, а за достаточно длительный период (от 10 лет и более) и обладающие более или менее постоянными значениями, изменяющимися не ежегодно. К стабильной группе биологических показателей относятся: 1) изменение структурной организации растительных сообществ (количество и качество ярусов); 2) наличие и количественная композиция в составе растительных сообществ видов растений – индикаторов изменения

водного режима территории; 3) качественное и количественное проявление видов растений – индикаторов изменения водного режима территории; 4) изменение кормовой ценности луговых сообществ (по сорнотравью; Кузьмина и др., 2015б);

Оценка нарушений одного из живых компонентов экосистем (наземных позвоночных) при изменении водного режима территорий под влиянием природных и антропогенных факторов предлагается проводить по разработанному оригинальному индексу “сравнительной оценки обобщенных показателей богатства животного населения (которое включает одновременную оценку видового разнообразия и численности)”: *обобщенный индекс разнообразия и численности* – $I_p = N \cdot P_{\max} + S$, где N – количество видов, отмеченных в пределах биотопа; P_{\max} – максимально возможное обилие вида (обычно равно пяти); S – сумма балльных оценок обилия всех видов, отмеченных в пределах биотопа.

Данный индекс (I_p) позволяет паритетно учитывать как видовое богатство, так и обилие каждого вида наземных позвоночных на различных территориях, подверженных изменениям в настоящее время или в перспективе. На основе распределения этого индекса для зоны влияния проектируемого гидроузла можно строить соответствующие карты (Подольский и др., 2016а, б, 2017; Дарманов и др., 2016; Антонов и др., 2015).

Оценку нарушений другого живого компонента экосистем – орнитокомплексов – при изменении водного режима территорий под влиянием природных и антропогенных факторов предлагается проводить на основе показателей численности и плотности видов орнитокомплекса; *показатель плотности видов* в сообществе наилучшим образом способен отображать динамику состояния орнитокомплекса (Шаповалова, 2015, 2016).

Основным оценочным индикационным показателем быстрой трансформации экосистем торфяников при их обводнении и/или осушении является изменение структуры орнитокомплексов (на основе изменения состава и численности видов птиц), а оценочными критериями изменения этих экосистем служит их сравнительная качественно-количественная характеристика (Гринченко, Свиридова, 2016; Волков и др., 2016).

Основными показателями и критериями длительнопротекающих трансформаций болотного комплекса под влиянием антропогенных и природных факторов коллективом авторов, в составе которого участвуют и сотрудники ИВП РАН (Цыганов и др., 2016) определены: изменения соотношения пыльцы основных компонентов в спектрах спорово-пыльцевой диаграммы торфяного монолита, особенности видовой структуры раковинных амёб в торфяном монолите, степень содержания микрочастиц угля в торфяном монолите, реконструированные значения уровня залегания болотных вод (УБВ, см), а также степени гумификации торфа.

В процесса трансформации береговых экосистем основным оценочным показателем можно считать скорость разрушения берега – скорость продвижения бровки коренного берега (Шумова, 2013, 2017).

Были разработаны также некоторые методики и методические подходы, позволяющие на основании комплексной оценки нарушений нескольких компонентов экосистем оценить степень их трансформации в результате антропогенного – гидротехнического (по изменению в почвах, грунтовых водах и растительности; Новикова и др., 2015, 2016) или ссумарного – антропогенного и естественного (климатического) воздействия (по изменению основных климатических и гидрологических характеристик, почв, растительности; Кузьмина, Трешкин, 2011; 2012).

Выводы

Динамические изменения в экосистемах могут происходить в результате внешних (естественных и антропогенных) и внутренних (саморазвитие) причин. Оценка динамических изменений в экосистемах чрезвычайно сложная задача, она может

выполняться как покомпонентно, так и в целом, для всей экосистемы. Сегодня, в условиях изменяющегося климата, оценка и прогноз динамики экосистем – важнейшие задачи современной науки.

За последние годы в лаборатории Динамики наземных экосистем под влиянием водного фактора ИВП РАН в соответствии с поставленными задачами по разработке оценочных динамических показателей как для неживых, так и для живых компонент экосистем, был разработан географический показатель для оценки изменений климатических компонент экосистем; были установлены показатели динамической оценки совокупного влияния климатических компонент (температуры и осадков); были разработаны оценочные показатели для нескольких живых компонент экосистем – растительности и животного населения (наземных позвоночных и птиц), включая структурно-функциональные особенности орнитокомплексов в целом; установлен индикационный оценочный показатель быстрой трансформации экосистем торфяников; установлен оценочный показатель процесса разрушения береговой экосистемы; разработаны методические подходы и методы оценки нарушений во всей экосистеме по совокупному анализу трансформаций нескольких её компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XIX столетия. 2003. / Отв. ред. Н.И. Коронкевич и И.С. Зайцева. М.: Наука. 367 с.
- Антонов А.И., Яковлев А.А., Подольский С.А. 2015. Видовой состав птиц среднего течения реки Зeya (Амурская область) // Фауна Урала и Сибири. Региональный фаунистический журнал № 2. С. 23-43.
- Аширова А.А. 1976. Растительность долины и дельты Амударьи и её хозяйственное использование. Кн. 2. Ашхабад, Изд-во: Ылым. 324 с.
- Волков С.В., Гринченко О.С., Свиридова Т.В. 2016. Влияние погодных и климатических колебаний на изменение сроков осенней миграции серого журавля (*Grus grus*) в северном Подмоскowie // Зоологический журнал. Т. 95. № 10. С. 1182-1191.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. Техническое резюме. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). 93 с.
- Гринченко О.С., Свиридова Т.В. 2016. Сохранение птиц в условиях современного сельского хозяйства: практика взаимодействия с землепользователями // Материалы I Международной орнитологической конференции «Птицы и сельское хозяйство: современное состояние, проблемы и перспективы изучения», 17-18 ноября, 2016 г., М.: Знак. С. 60-66.
- Данилов-Данильян В.И. 2017. Экосистема – одно из важнейших фундаментальных понятий современной науки // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 5-9 (доступно по ссылке <http://www.ecosystemsdynamic.ru>).
- Данилов-Данильян В.И., Арский Ю.М., Вяхирев Р.И., Залиханов М.Ч., Кондратьев К.Я., Лосев К.С. 2002. Экологический энциклопедический словарь. М.: Издательский дом «Ноосфера». 930 с.
- Доманов Т.А., Подольский С.А., Красикова Е.К. 2016. Роль климатических факторов в динамике численности волка и объектов его охоты на территории Зейского заповедника // Охрана и рациональное использование животных и растительных ресурсов. Материалы V международной научно-практической конференции: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. 26-29 мая, Иркутск. Иркутск. С 179-184.
- Дробов В.П. 1951. Возникновение и развитие тугайной растительности и её реконструкция в связи со строительством Главного Туркменского канала // БМОИП. Отд. биол. Т. 56.

С. 65-72.

- Закретегер И.Я.* 1927. Тугайные леса нижнего течения реки Амударьи. М.: Изд-во АН СССР. 21 с.
- Кузьмина Ж.В.* 2005. Оценка последствий изменения режима речного стока для пойменных экосистем при создании малых гидротехнических сооружений на равнинных реках // Метеорология и гидрология. № 8. С. 89-103.
- Кузьмина Ж.В.* 2007а. Воздействие низконапорных гидротехнических сооружений на динамику наземных экосистем зоны широколиственных лесов Центральной и Восточной Европы. Автореф. дисс. ... докт. г.н. 44 с.
- Кузьмина Ж.В.* 2007б. Анализ многолетних метеорологических трендов на Юге России и Украины (от лесостепи до пустынь) // Аридные экосистемы. Т. 13. № 32. С. 53-67.
- Кузьмина Ж.В., Каримова Т.Ю., Трешкин С.Е., Феодоритов В.М.* 2011а. Влияние климатических изменений и зарегулирования речного стока на динамику растительности долин рек // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 2 (116). С. 34-40.
- Кузьмина Ж.В., Каримова Т.Ю., Трешкин С.Е., Феодоритов В.М.* 2011б. Воздействие антропогенного регулирования речного стока и климатических изменений на динамику растительности долин рек // Антропогенная динамика растительного и почвенного покровов лесной зоны. Сборник научных трудов кафедры земледелия и растениеводства. М.: Государственный университет по землеустройству. С. 125-147.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 1999. Особенности развития и сохранения тугайных лесов в связи с цикличностью катастрофических паводков // Сохранение и защита горных лесов. Ош. С. 38-44.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2001. Современное состояние флоры и растительности заповедника "Бадай-Тугай" в связи с изменением гидрологического режима // Ботанический журнал. Т. 86. № 1. С. 73-84.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2003. Оценка влияния Южно-Каракалпакского магистрального коллектора на заповедник Бадай-Тугай // Аридные экосистемы. Т. 9. № 19-20. С. 93-105.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2009. Изменения основных метеорологических характеристик на юге Европейской части России // Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве / Ред. А.Л. Иванов, В.И. Кирюшин. М.: Россельхозакадемия. С. 402-416.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2010. Антропогенное изменение пойменных экосистем и их охрана // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 5 (113). С. 58-64.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2011. Метод оценки гидротехнического воздействия и климатических изменений на экосистемы // Антропогенная динамика почв и растительности лесной зоны. М. С. 148-163.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2012а. Оценка последствий гидротехнического воздействия на экосистемы пойменных гидроморфных и полуавтоморфных территорий // Актуальная биогеография. Вопросы географии. Москва: Издательский дом "Кодекс". Вып. 134. С. 298-313.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2012б. Тугай и возможности их восстановления в современный период // Аридные экосистемы. № 3 (52). С. 44-59.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2012в. Влияние климатических и гидрологических изменений на трансформацию естественных и антропогенно нарушенных в результате мелиорации экосистем зоны южной тайги // Рекультивация и использование залежных земель в Нечерноземной зоне России: теория и практика. Материалы Международной научно-практической конференции ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии. Тверь. С. 89-109.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е.* 2014. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. Т. 20. № 3 (60). С. 14-32.

- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2016а. Многолетние изменения основных метеорологических характеристик в бассейне Амура // Использование и охрана природных ресурсов в России. № 2 (146). С. 50-61.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 2016б. Климатические изменения в Приаралье и Средней Азии // Аридные экосистемы. Т. 22. № 4(69). С. 5-20.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2013. Воздействие основных тенденций совокупного влияния климатических и гидрологических изменений на сукцессионную динамику растительности в мелиоративно трансформируемых экосистемах зоны южной тайги // Материалы Международной практической конференции «Современные проблемы использования мелиорированных земель и повышения их плодородия», г. Тверь, 27-28 июня 2013 г. Тверь. С. 246-252.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2015а. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций // Аридные экосистемы. Т. 21. №4(65). С. 39-53.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю., Цуцкиридзе Д.Ю. 2015б. Критерии климатического и антропогенного заболачивания наземных экосистем в долинах рек // Болота и биосфера: материалы Всероссийской с международным участием IX школы молодых ученых (14-18 сентября 2015 г., г. Владимир). Иваново: ПресСто. С. 219-224.
- Новикова Н.М., Волкова Н.А. 2016. Структура флоры побережий в зоне влияния водохранилищ на юге европейской части России // Аридные экосистемы. Т. 22. № 4. С. 52-63.
- Новикова Н.М., Волкова Н.А., Назаренко О.Г. 2015. К методике изучения и оценки воздействия водохранилищ на природные комплексы побережий // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4(65). С. 84-94.
- Новикова Н.М., Кузьмина Ж.В., Подольский С.А., Балюк Т.В. 2005. Критерии, ограничивающие регулирование режима речного стока по экологическим показателям // Аридные экосистемы. Т. 11. № 28. С. 26-38.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2008. Техническое резюме. М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). 89 с.
- Панкова Е.И., Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 1994. Влияние грунтовых вод на состояние почвенного и растительного покрова в оазисах Южной Гоби Монголии и перспективы рационального использования земель // Водные ресурсы. Т. 21. № 3. С. 358-364.
- Панкова Е.И., Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. 1996. Состояние тугайной растительности в оазисах Южной Монголии и перспективы их восстановления // Аридные экосистемы. Т. 2. № 2-3. С. 131-144.
- Педь Д.А. 1975. О показателях засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. Вып. 156. С. 19-39.
- Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Гоголь Ф.В. 2008. Современные изменения климата республики Татарстан // Вестник ВГУ. Серия: География, Геоэкология. № 2. С. 13-23.
- Подольский С.А., Игнатенко С.Ю., Игнатенко Е.В., Тиунова Т.М., Павлова К.П., Коцюк Д.В., Антонов А.И., Михеев П.Б., Шмигрилов А.П., Борисова И.Г., Старченко В.М. 2016а. Методология организации и ведения мониторинга биоразнообразия в зонах влияния ГЭС на примере крупных гидроузлов Приамурья // Вестник Дальневосточного отделения РАН. № 1 (185). С. 15-25.
- Подольский С.А., Кастрикин В.А., Парилов М.П., Павлова К.П., Левик Л.Ю. 2017. Возможности сравнительной оценки обобщенных показателей видового разнообразия и численности животного населения на примере зоны влияния проектируемого Нижне-

- Зейского гидроузла // Экосистемы: экология и динамика. Т. 1. № 1. С. 55-73 (доступно по ссылке <http://www.ecosystemsdynamic.ru>).
- Подольский С.А., Левик Л.Ю., Павлова К.П., Красикова Е.К.* 2016б. Редкие и краеарейные виды грызунов бассейна р. Зеи в условиях влияния гидростроительства // Амурский зоологический журнал VIII (2). С. 154-167.
- Сочава В.Б.* 1972. Геоботаническое картографирование // Классификация растительности как иерархия динамических систем. Л. С. 3-18.
- Сочава В.Б.* 1979. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск, Изд-во: Наука. 189 с.
- Трешкин С.Е.* 1990. Структура и динамика древесно-кустарниковых сообществ дельты и низовьев реки Амударьи в связи с антропогенным воздействием. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. М. 242 с.
- Трешкин С.Е., Кузьмина Ж.В.* 1989. Структура древесно-кустарниковых тугаев низовьев Амударьи // Вестник КК ФАН УзССР. №4. Нукус. С. 35-39.
- Трешкин С.Е., Кузьмина Ж.В.* 1993. Современное состояние пойменных лесных экосистем рек Амударьи и Сумбара в связи с антропогенным воздействием // Проблемы освоения пустынь. № 2. С. 14-19.
- Цыганов А.Н., Новенко Е.Ю., Бабешко К.В., Мазей Н.Г., Борисова Т.В., Мазей Ю.А.* 2016. Реконструкция послепожарной сукцессии болотных экосистем по данным палеоэкологического анализа // Сборник трудов конференции. Современные концепции экологии биосистем и их роль в решении проблем сохранения природы и природопользования. Материалы Всероссийской (с международным участием) научной школы – конференции, посвященной 115-летию со дня рождения А.А. Уранова. С. 210-212.
- Шаповалова И.Б.* 2015. Орникомплексы побережий Цимлянского водохранилища // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4 (65). С. 95-105.
- Шаповалова И.Б.* 2016. Современное состояние орнитофауны искусственного водоема Сарпа под влиянием водного и антропогенного факторов // Проблемы региональной экологии. № 4. С. 38-45.
- Шульга В.Д.* 2002. Устойчивость мелиоративных древостоев степных ландшафтов: методология и практика адаптации. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ. 158 с.
- Шумова Н.А.* 2013. Прогноз и наблюдаемые смещения береговой линии Цимлянского водохранилища // Аридные экосистемы. Т. 19. № 3 (56). С. 43-50.
- Шумова Н.А.* 2017. Анализ динамики разрушения берегов Цимлянского водохранилища // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3(73). (В печати).
- Щукин И.С.* 1980. Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М.: Советская энциклопедия. 703 с.
- Climate Change. 2013. The Physical Science Basis // Working Group I Contribution to the fifth Assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Edited by Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. Cambridge University Press, 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA. 1535 p. /<http://www.climatechange2013.org>.
- Dister E., Gomer D., Obrdlik P., Petermann P., Schneider E.* 1990. Water Management and Ecological Perspectives of the Upper Rhine's Floodplains. Regulated Rivers // Regulated Rivers : Research & Management. Band 1. Heft 1. S. 1-15.
- Dister E., Henrichfreise A.* 2009. Veraenderungen des Wasserhaushalts und Konsequenzen fuer den Naturschutz // Natur und Landschaft. Vol. 84. No. 1. S. 26-31.
- Henrichfreise A.* 1996. Uferwaelder und Wasserhaushalt der Mittelelbe in Gefahr // Natur und

- Landschaft. Vol. 71 No. 6. S. 246-248.
- Henrichfreise A.* 2000. Zur Erfassung von Grundwasserstandsschwankungen in Flussauen als Grundlage fuer Landeskultur und Planung – Beispiele von der Donau // *Angewandte Landschaftsoekologie*. Vol. 37. S. 13-21.
- Kouzmina J.V.* 2004. The impact of natural and human-induced changes in the river flow and the climate on flood plain ecosystems in the middle Elbe river basin // *Ecological Engineering and Environment protection*. No. 2. Pp. 5-15.
- Kouzmina J.V., Treshkin S.Y., Avetjan S.A., Henrichfreise A.* 2005. Assessment of consequences change of river flow regime for floodplain ecosystems under building small and middle hydrotechnical constructions // *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. Prague, Czech Republic. Vol. 53. № 1. Pp. 3-16.
- Kouzmina J., Treshkin S., Henrichfreise A.* 2004. The Monitoring Comparative Results of the Floodplain Ecosystems in Regulated and Natural Part of the Danube River (Geisling-Passau) // *Korean Journal of Ecology*. Vol. 27. № 4. Pp. 211-216.
- Kuzmina Zh.V., Treshkin S.Ye.* 2012. Phytomelioration of Solonchaks in the Uzbekistan Pre-Aral Region Under Recent Climate Change // *Aralkum a Man-Made Desert. The Desiccated Floor of the Aral Sea (Central Asia)* / Eds. S-W. Breckle et al. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pp. 407-429.
- Novikova N.M., Kuz'mina J.V., Dikareva T.V., Trofimova T.U.* 2001. Preservation of the tugai biocomplex diversity within the Amu-Darya and Syr-Darya river deltas in aridization conditions // *Ecological research and monitoring of the Aral sea deltas*. Boock 2. UNESCO: Pronting Sagraphic, Barcelona. Pp. 155-188.
- Novikova N.M., Kust G.S., Kuzmina J.V., Trofimova G.U., Dikariova T.V., Avetian S.A., Rozov S.U., Deruzhinskaya V.O., Safonicheva L.F., Lubeznov U.E.* 1998. Contemporary plant and soil cover changes in the Amu-Dar'ya and Syr-Dar'ya river deltas // *Ecological Research and Monitoring of the Aral Sea Deltas*. UNESCO: Paris. Pp. 55-80.

DYNAMIC CHANGES IN ECOSYSTEMS AND THE PROBLEMS OF THEIR ASSESSMENT

© 2017. Zh.V. Kuzmina

Water Problems Institute RAS

Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str., 3. E-mail: jannaKV@yandex.ru

The paper states that dynamic changes in ecosystems can emerge as a result of inner self-development as well as external influence. At present the external influence is the determining factor in ecosystems dynamics, it can be natural (terrestrial or cosmic) or unnatural (anthropogenic). The assessment of dynamic changes in ecosystems can be done integrally, i.e. for the whole ecosystem (taking the cartographic analysis as an example) as well as for its components, i.e. separately for each component (or group of components) of the ecosystem. The problem of identification and assessment of dynamic changes in ecosystems is very complicated and to solve it is the most important task nowadays. The main results of the componentwise assessment of the terrestrial ecosystems dynamics under the transformation of the water regime of the territory as the result of natural and anthropogenic reasons are presented in the paper.

Keywords: terrestrial ecosystems, components of ecosystem, ecosystem dynamics, assessment of the transformation of ecosystems.