Метод геоэкологической оценки ландшафтов в среде ГИС при создании и реконструкции природно-аграрных систем

Method for geoecological evaluation of landscapes in GIS medium in the process of natural-agricultural systems creation and reconstruction

Осипов / Osipov A.
Алексей Георгиевич
(zoyaks@yandex.ru)
кандидат географических наук.
ФГКВОУ ВО «Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского» МО РФ,
доцент кафедры картографии.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: природно-аграрная система – natural-agricultural system; комплексная геоэкологическая оценка ландшафтов – integral geoecological assessment of landscapes; бассейно-ландшафтный подход – basin-landscape approach; экологический каркас природно-аграрной системы – ecological frame of natural-agricultural system; экотон – ecotone; природноохранный потенциал ландшафтов – environmental landscape potential; аграрный потенциал ландшафтов – agricultural landscape potential; источник биогенной нагрузки – source of biogenic burden.

Изложенный метод позволяет производить геоэкологическую оценку ландшафтов создаваемых и реконструируемых природно-аграрных систем в среде ГИС при формировании их экологического каркаса, проектировании сельскохозяйственных угодий и рекреационных зон, а также при обосновании экологической безопасности землепользования по критерию биогенного загрязнения вод.

Outlined method permits to perform geoecological assessment of landscapes of created and reconstructed natural-agricultural systems in GIS medium when their ecological frame is formed, when cultivated lands and recreation zones are planned, as well as when environmental safety of land-utilization is justified according to biogenic water contamination criterion.

До настоящего времени аграрное освоение природной среды носило преимущественно экстенсивный характер, что приводило сначала к локальным, а затем к региональным и глобальным экологическим проблемам. В последние годы наблюдается постепенная, но закономерно обусловленная переориентация научных взглядов в области управления развитием природно-аграрных систем с чисто экономических позиций на позиции экологически обоснованные.

При этом слабым звеном в реализации новых подходов является их информационное обеспечение, которое не в полной мере отвечает потребностям стратегии устойчивого развития. Исходя из этого возникло противоречие между необходимостью повышения экологической безопасности создаваемых природно-аграрных систем и несовершенством информационного обеспечения работ по территориальному планированию.

Разрешение данного противоречия возможно лишь за счет совершенствования подходов к комплексной геоэкологической оценке ландшафтов при создании и реконструкции природно-аграрных систем, учитывающих влияние каждого компонента природной среды на ее устойчивость к антропогенным нагрузкам. При этом разрабатываемые подходы должны быть формализованы и реализованы в среде ГИС, позволяющей обрабатывать пространственно распределенную, координатно привязанную информацию и представлять результаты обработки в виде набора аналитических и синтетических электронных оценочных карт.

В данном исследовании под геоэкологической оценкой территории понимается пространственный многопараметрический анализ природно-ресурсного потенциала естественных и антропогенно измененных ландшафтов с целью определения их возможности устойчиво выполнять задаваемые им социально-экономические функции (в нашем случае производство растительной сельскохозяйственной продукции) без нарушения функций жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводства).

В основу геоэкологической оценки ландшафтов необходимо закладывать бассейново-ландшафтный подход, получивший широкое применение для решения задач комплексного природопользования. Общими принципами геоэкологической оценки ландшафтов в пределах речного бассейна при создании и реконструкции природно-аграрных систем являются: принцип системности; принцип субъектно-объектного оценивания; принцип

учета приоритетности факторов, участвующих в оценке; принцип континуальности; принцип единства оценки; принцип ориентации оценки на природную составляющую; принцип приоритетности геоэкологических условий; принцип учета региональных особенностей; принцип эмерджентности и принцип сомасштабности.

Геоэкологическая оценка ландшафтов должна основываться на методических положениях, реализующих ее принципы, основными из которых являются: а) дифференциация территории на объекты исследования; б) выбор показателей, используемых для оценки ландшафтов; в) способы интеграции показателей; г) пространственная и временная локализации (привязка) информации; д) картографическое представление данных о результатах оценки ландшафтов в среде ГИС.

Исходя из вышеизложенных положений, автором разработан метод геоэкологической оценки ландшафтов в среде ГИС при создании и реконструкции природно-аграрных систем, который состоит из следующих составных частей (блоков):

1) блок информационного обеспечения геоэкологической оценки ландшафтов;

2) блок геоэкологической оценки ландшафтов при формировании экологического каркаса природно-аграрной системы;

3) блок геоэкологической оценки ландшафтов при формировании сельскохозяйственных угодий и рекреационных зон природно-аграрной системы;

4) блок геоэкологической оценки ландшафтов при обосновании экологической безопасности землепользования по критерию биогенного загрязнения вод.

Структурно-логическая схема разработанного метода представлена на рис. 1. Кратко рассмотрим его особенности.

Блок 1. Информационное обеспечение геоэкологической оценки ландшафтов.

1.1 *Разработка концептуальной информационной модели геоэкологической оценки ландшафтов в среде ГИС*. Ее основное назначение заключается в том, чтобы установить взаимосвязь между предметной областью и прикладными задачами, которые должны решаться на основе получаемой информации. То есть для решения конкретной прикладной задачи необходимо формализовать на уровне концептуального представления информационное содержание предметной области. Такое формализованное представление будем называть концептуальной информационной моделью, которая обеспечивает наиболее удобную связь между прикладными задачами и информацией, хранящейся в базе данных ГИС, а также позволяет повысить эффективность использования методов и средств ее обработки в различных комплексах автоматизации. По своей сущности концептуальная информационная модель предметной области должна отражать совокупность данных, необходимых для решения задач и связи между ними.

Построение концептуальной информационной модели предметной области должно включать в себя следующие этапы: 1) анализ предметной области; 2) разработка и исследование локальных информационных моделей; 3) интегрирование локальных информационных моделей в обобщенную концептуальную информационную модель.

Анализ предметной области проводится с целью определения элементов данных, необходимых и достаточных для решения поставленных задач. Для этого исследуется каждая задача, путём деления её на ряд отдельных операций, в процессе чего и определяются элементы данных, используемые в них. Это позволяет сформировать матрицу взаимосвязей операций и данных, которую можно рассматривать как некоторый формализованный облик предметной области.

Для построения концептуальной информационной модели предметной области необходимо для каждой решаемой задачи произвести группировку данных.

Для идентификации элементов данных целесообразно использовать метод статистического анализа матрицы взаимосвязей операций и данных, создаваемой в результате изучения предметной области.

Одним из итогов концептуального моделирования является графическое представление модели, которое дает возможность визуально исследовать не только ее вид и содержание, но и поведение в случае изменения внешних (изменение задачи, ввод дополнительных данных) и внутренних (изменение граничных условий) факторов. Поэтому графический язык описания концептуальной модели должен быть наглядным, простым и содержательным.

В случае решения сложных задач представляется целесообразным разбивать их на ряд более простых, что в свою очередь приводит к появлению локальных участков предметной области. Такой подход, с одной стороны, упрощает процесс моделирования, а с другой – позволяет создавать локальные приложения, которые могут независимо использоваться различными задачами. При этом необходимо учитывать, что формирование локальных представлений предметной области требует решения задач поиска компромиссного варианта, так как узкий участок предметной области приводит к снижению уровня интеграции данных и к их «дроблению», а большой участок – к нечеткости и сложности. Исходя из этого, для идентификации данных целесообразно использовать многовариантные решения.

1.2 *Сбор исходных данных, необходимых для геоэкологической оценки ландшафтов в среде ГИС*. Сбор исходных данных включает в себя изучение фондовых, литературно-справочных, статистических, аэрокосмических и картографических материалов, характеризующих физико-географические, геоэкологические условия и особенности аграрного освоения как исследуемого региона в целом, так и изучаемых административных образований, входящих в регион. На данном

Рис. 1. Структурно-логическая схема метода геоэкологической оценки ландшафтов при создании и реконструкции природно-аграрных систем

этапе на основе концептуальной информационной модели уясняется, какой собранный материал будет использоваться в качестве основного, а какой – в качестве дополнительного, и окончательно определяются технологические особенности выполнения работ.

1.3 *Создание базовой картографической основы, построение границы водосбора речного бассейна и создание ландшафтной карты.* В качестве базовой картографической основы целесообразно использовать топографические карты. Для проведения работ на региональном уровне наиболее оптимальными являются масштабы 1:200000–1:500000. Природно-аграрный потенциал на этих картах оценивается применительно к видам ландшафтов. Для проведения работ на уровне бассейнов малых рек наиболее оптимальными являются масштабы 1:100000 и крупнее. Природно-аграрный потенциал на этих картах оценивается применительно к видам урочищ, их типологически сходным группам, а также к типологически сходным группам фаций.

Построение границы водосбора речного бассейна, входящего в пределы изучаемого региона, осуществляется автоматизировано по цифровой модели рельефа базовой картографической основы, с помощью программного обеспечения ГИС. Создание ландшафтной карты осуществляется по общепринятым методикам.

Блок 2. Геоэкологическая оценка ландшафтов при формировании экологического каркаса природно-аграрной системы.

2.1 *Обоснование площади экологического каркаса природно-аграрной системы речного бассейна по критерию биоразнообразия.* Экологический каркас природно-аграрной системы речного бассейна – совокупность важнейших ранжированных по режимам использования средорегулирующих и средоформирующих природных и природно-антропогенных экосистем, образующих пространственно организованную инфраструктуру, обеспечивающую экологическую стабильность территории.

При создании экологического каркаса природно-аграрной системы речного бассейна следует учитывать, что его компенсационные возможности должны быть достаточными для поддержания экологического баланса при постоянно возрастающем антропогенном давлении. Экологический каркас природно-аграрной системы речного бассейна будет эффективно выполнять свои средообразующие и защитные функции, если он занимает значительную площадь, обеспе-

чивая высокую интенсивность информационного и вещественно-энергетического взаимодействия между его отдельными составляющими.

Подавляющее большинство экспертов считает, что для условий таежной зоны ядра экологического каркаса – особо охраняемые природные территории (ООПТ) должны составлять от 20 до 50% общей площади территории. Существуют полученные эмпирическим путем расчеты для соотношения трех типов территорий: природные ландшафты (ОПТ, естественные экосистемы), измененные человеком территории (преимущественно сельскохозяйственные) и урбанизированные зоны (включая производственные, транспортные и др. объекты), которые должны составлять 50, 40 и 10% соответственно. Если объединить две последние зоны, то получится, что оптимально организованной и способной к поддержанию экологического равновесия следует считать территорию, половина которой имеет статус ОПТ [12].

Государственной программой Российской Федерации «Охрана окружающей среды на 2012–2020 годы» предусмотрено к 2020 году включить в ООПТ 13,5% площади Российской Федерации. В Московской области к 2020 году для наименее освоенных районов под ООПТ (ядра каркаса) предлагается отводить до 17% территории, а под земли экологического каркаса в целом – 25–30% территории. В Ленинградской области по состоянию на 1 октября 2013 года под ООПТ было отведено 6,8% территории, а под земли экологического каркаса в целом – 25–30% территории, к 2020 году площадь ООПТ области должна возрасти до 13,5%. В Вологодской области доля земель, занятых ООПТ, должна достичь к 2017 году 15%.

Следовательно, одной из важнейших геоэкологических задач, стоящих при создании природно-аграрных систем, является обоснование площади их экологического каркаса, обеспечивающей экологическую стабильность территории и предотвращающей снижение ее биологического разнообразия.

По мнению большинства специалистов, для сохранения биоразнообразия природных ландшафтов достаточно осуществлять регулирование предельно допустимых нагрузок на природную среду, обеспечивающих сохранение типичных условий местообитания флоры и фауны.

В природных ландшафтах наибольшее биоразнообразие свойственно экотонам – переходным полосам между физиономически отличимыми растительными сообществами, которые являются своеобразными «зонами напряжения», оказывающими компенсирующее влияние на устойчивость естественных биогеоценозов при антропогенном освоении территории.

Каждый природный ландшафт характеризуется свойственным ему набором экотонов (закустаренных территорий, естественных лугов, болот, водных объектов и т.д.), которые определяют его экологическое разнообразие. При создании природно-аграрных систем происходит неизбежное упрощение структуры природного ландшафта и сокращение числа экотонов, что приводит к снижению его устойчивости [2, 3, 4]. Определение допустимого уровня антропогенного освоения природных ландшафтов должно строиться на анализе его ландшафтной неоднородности. При этом следует учитывать, что с увеличением ландшафтной неоднородности величина допустимого изменения экологического разнообразия ландшафта уменьшается и наоборот.

Для определения экологически допустимого уровня освоения природных ландшафтов при создании природно-аграрных систем необходимо рассчитать индексы их видового разнообразия, которые зависят от плотности и контрастности свойственных им экотонов.

Выделение экотонов в пределах природного ландшафта целесообразно осуществлять по данным дистанционного зондирования Земли с использованием методов автоматизированного дешифрирования почвенно-растительного покрова [11].

Процесс дешифрирования заключается в последовательном выделении контуров основных растительных сообществ путем сравнения рассчитанных по фотоизображению значений их вегетационных индексов (ВИ), с эталонными индексами, хранящимися в базе знаний. Принцип формирования объектов дешифрирования с точки зрения топологических отношений, характеризующих биоразнообразие природного ландшафта, определим следующим образом: объект E_{pq} ,где $p = 1...e$, будем называть экотоном q-го типа с контрастностью q, если в пределах границ смежности двух основных растительных сообществ разных типов существует область с неопределенным ВИ, значение которого не выходит за пределы интервала допустимых значений ВИ для растительного покрова.

На основе анализа дробности, плотности и контрастности отдешифрированных экотонов для каждого ландшафта рассчитываются индексы их видового разнообразия, которые предлагается использовать для определения площади экологического каркаса природно-аграрной системы речного бассейна.

Методические подходы к обоснованию площади экологического каркаса природно-аграрной системы речного бассейна рассмотрены автором в работе [11].

2.2 *Оценка пригодности ландшафтов природно-аграрной системы речного бассейна для формирования ядер экологического каркаса.* Экологический каркас территории включает в себя три основных элемента: ядро, транзитные экологические коридоры и многофункциональные буферные (переходные) территории, которые обеспечивают его целостность и функциональную роль. Кратко охарактеризуем сущность каждого перечисленного элемента.

Главный системообразующий элемент экологического каркаса – ядро – представленное экосистемами, выполняющими средовоспроизводящую, природоохранную и информационную функции, обеспе-

чивающие хранение генофонда. Ядро представляет собой типичные, ценные и уникальные экосистемы, представленные природными и природно-антропогенными типами экосистем на различных сукцессионных стадиях, что и позволяет им выполнять средообразующую функцию. Более всего способны исполнять роль ядер экологического каркаса ООПТ: заповедники, национальные и природные парки, а в ряде случаев – заказники и памятники природы. Это определено перечнем функций, предписанных ООПТ Федеральным законом «Об особо охраняемых природных территориях» (2005). Важнейшей из этих функций является поддержание экологического баланса территории и регулирование всех ее параметров, что соответствует задачам формирования экологического каркаса.

В качестве критериев геоэкологической оценки пригодности ландшафтов для формирования ядра экологического каркаса природно-аграрной системы предлагается использовать:

· природоохранный потенциал ландшафтов – их способность выполнять функции средо- и ресурсовоспроизводства;

· устойчивость ландшафтов к антропогенным нагрузкам – способность ландшафтов выдерживать механические и геохимические антропогенные воздействия на почвенный и растительный покровы.

Природоохранный потенциал ландшафтов предлагается характеризовать четырьмя факторами: 1) состояние почвенного покрова; 2) состояние наземного фитоценоза; 3) состояние наземного зооценоза; 4) состояние природных вод как среды обитания водного зоо- и биоценозов, а их устойчивость к антропогенным нагрузкам двумя: устойчивостью растительного покрова и почв к механическим воздействиям и устойчивостью почвенного покрова к геохимическим воздействиям.

Методические подходы к оценке пригодности ландшафтов природно-аграрной системы речного бассейна для создания ядер экологического каркаса рассмотрены автором в работах [1, 12].

Блок 3. Геоэкологическая оценка ландшафтов при формировании сельскохозяйственных угодий и рекреационных зон природно-аграрной системы.

3.1 *Оценка пригодности ландшафтов природно-аграрной системы речного бассейна для производства растительной сельскохозяйственной продукции.* Пригодность ландшафтов производить растительную сельскохозяйственную продукцию обуславливается их аграрным и агроэкологическим потенциалами. При этом под аграрным потенциалом ландшафта понимают способность его компонентов обеспечивать производство растительной сельскохозяйственной продукции, а под агроэкологическим потенциалом – его способность при производстве растительной сельскохозяйственной продукции выполнять свойственные ему функции жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводства).

На северо-западе России формирование аграрного потенциала ландшафтов обуславливается двумя компонентами – климатом и почвенным покровом. Важнейшей агроклиматической характеристикой является солнечная радиация, которая служит энергетической базой для развития растений и формирования урожая. Наряду с солнечной радиацией, очень большое значение для развития сельскохозяйственных растений имеют атмосферные осадки. Продуктивность почв обуславливается их плодородием. Плодородие – это способность почвы обеспечивать потребности растений в факторах и условиях жизни: питательных веществах, воде, воздухе, тепле, благоприятной среде для развития корневой системы и др. Оно является обобщающим показателем химических, физических, водных, воздушных и тепловых свойств почвы. Различают четыре основных вида плодородия: естественное (природное), искусственное, экономическое (эффективное) и потенциальное. Из перечисленных видов плодородия при геоэкологической оценке пригодности почв для аграрного освоения анализируется лишь естественное плодородие, которое характеризует природные возможности ландшафтов по производству растительной сельскохозяйственной продукции, без учета антропогенной составляющей. Результаты оценки естественного плодородия могут выражаться в качественных показателях (очень низкое, низкое, среднее, высокое, очень высокое), основанных на результатах бонитировки почв (учитывающей связь свойств почвы с уровнем урожайности основных сельскохозяйственных культур).

Наряду с плодородием пригодность почвенного покрова северо-запада России для аграрного освоения обуславливается мелиоративной неустроенностью почв, т.е. их заболоченностью, завалуненностью и эродированностью.

Производство растительной сельскохозяйственной продукции активно влияет на экологическую устойчивость ландшафтов. Внесение минеральных удобрений приводит к химическому загрязнению почв, а распашка почвенного покрова к водной эрозии. При производстве растительной сельскохозяйственной продукции самыми распространенными и наиболее опасными загрязнителями почв являются тяжелые металлы и оксиды серы и азота.

Интегральным показателем устойчивости почв к химическим воздействиям является показатель их эколого-геохимического состояния, характеризующий условия функционирования присущих почвенной разности совокупностей живых организмов. Показателем «нормального функционирования» почвы как биокосной системы являются биологическая продуктивность и качество создаваемой биологической продукции, а именно:

1) уровень продуктивности по сравнению с исходным уровнем не должен понижаться;

2) в биомассе не должны накапливаться элементы и их соединения в количестве, нарушающем жизненные функции, как данного биоценоза, так и организмов, связанных с ним пищевыми цепями;

3) в почвенной биоте должен сохраниться полезный средообразующий генофонд, поддерживающий устойчивость почвы как биокосной системы.

Эродированность почв снижает их продуктивность и затрудняет рациональное использование земель. Эрозия начинает проявляться при крутизне склонов 0,5–2,0 градуса. Изменение длины склона с 400 до 500 м ведет к увеличению смыва почвы с 18 до 25 т/га. По данным работы [4] слабая эрозия приводит к недобору урожая на 15%, средняя – на 34%, а сильная – на 51%.

Методические подходы к оценке пригодности ландшафтов природно-аграрной системы речного бассейна для производства растительной сельскохозяйственной продукции рассмотрены автором в работах [5, 6, 7, 10].

3.2 *Оценка пригодности ландшафтов природно-аграрной системы речного бассейна для формирования рекреационных зон.* В качестве критериев геоэкологической оценки пригодности ландшафтов для рекреационного освоения предлагается использовать:

· природно-рекреационный потенциал – способность ландшафтов удовлетворять физические, психические и гигиенические запросы рекреантов при организации отдыха населения;

· устойчивость к рекреационным нагрузкам – способность ландшафтов противостоять рекреационным воздействиям без нарушения их средо- и ресурсовоспроизводящих функций.

Природно-рекреационный потенциал ландшафтов предлагается характеризовать двумя показателями:

1) пейзажным разнообразием природных комплексов – степенью эмоциональной привлекательности той или иной территории для рекреантов (учитывающим такие свойства ландшафтов как: тип рельефа и густота древостоев лесных сообществ);

2) ландшафтной комфортностью территории – совокупностью природных условий, в которых человек может находиться длительное время без физического и эмоционального дискомфорта (учитывающей такие свойства ландшафтов как: степень увлажнения природной среды, удаленность ландшафта от рекреационно-привлекательных водных объектов и тип растительного покрова).

Экологическая безопасность рекреационного природопользования характеризуется устойчивостью природной среды к рекреационным нагрузкам, учитывающей способность ландшафтов противостоять уплотнению почвенного и вытаптыванию растительного покровов рекреантами.

По мнению отечественных специалистов, устойчивость природной среды к рекреационным нагрузкам зависит от изменения следующих компонентов ландшафта:

· механического состава почв (устойчивы легкосуглинистые почвы, с утяжелением или облегчением механического состава устойчивость падает);

· влажности почвы (устойчивы свежие почвы, с иссушением или увлажнением устойчивость падает);

· мощности гумусового горизонта почвы (чем он мощнее, тем устойчивость выше);

· мощности рыхлых грунтовых отложений (если скалистое основание подходит близко к поверхности, устойчивость заметно снижается);

· уклона местности (чем он больше, тем устойчивость ниже);

· состава древостоя и строения корневой системы лесообразующих пород деревьев;

· уровня биологического разнообразия природной среды.

Суть процесса нормирования рекреационных воздействий на ландшафт сводится к нахождению границы его устойчивого состояния на фоне рекреационных изменений или дигрессий. За границу устойчивого состояния ландшафта принимается начало необратимых изменений растительности: в лесах – уничтожение подстилки, задернение, вторжение под полог леса луговых видов, затруднение возобновления, появление ненадежного подроста. Основным индикатором при анализе изменений растительности является трансформация травяного и кустарникового яруса, а дополнительными – изменение подроста, подлеска, развитие тропиночной сети, уплотнение верхних горизонтов почвы. При этом следует учитывать, что сильнее всего от вытаптывания страдает ель, затем сосна и, наконец, береза.

Методические подходы к оценке пригодности ландшафтов природно-аграрной системы речного бассейна для рекреационного освоения рассмотрены автором в работах [1, 8].

Блок 4. Геоэкологическая оценка ландшафтов при обосновании экологической безопасности природно-аграрной системы по критерию биогенного загрязнения вод.

4.1 *Оценка выноса биогенных веществ (БВ) из источников биогенной нагрузки в основной водоток.* Для каждого речного бассейна, в пределах которого планируется создание природно-аграрных систем, необходимо составление схемы биогенной нагрузки, формирующейся на водосборе и включающей все источники поступления биогенных веществ в водные объекты. На основании такой схемы должна выбираться оптимальная стратегия землепользования.

При этом следует учитывать, что применимость для прогнозов биогенного загрязнения вод большинства из существующих моделей ограничена из-за почти полного отсутствия исходных данных.

При оценке экологической безопасности создаваемых природно-аграрных систем по критерию биогенного загрязнения вод необходим анализ фактического освоения изучаемой бассейново-ландшафтной системы, т.к. прогноз биогенного загрязнения вод может осуществляться только на основе информации о распределении биогенной нагрузки на водосборе и особенностях ее миграции в системе «водосбор-водоток-водоем». Целенаправленно планируя и изменяя эту нагрузку путем

осуществления продуманной хозяйственной деятельности в пределах бассейновой системы, можно управлять безопасностью аграрного освоения водосбора.

Для решения нашей задачи целесообразно использовать методические подходы, изложенные в работе [13], которые позволяют по минимальному объему исходной информации рассчитать вынос БВ с исследуемого водосбора через замыкающий створ водотока в водоем. Их применение возможно на этапах технико-экономического обоснования и разработки проекта создания природно-аграрной системы.

Для расчета выноса БВ все источники биогенной нагрузки, расположенные в пределах природно-аграрной системы, подразделяются на: 1) рассеянные (диффузные), 2) точечные и 3) фоновые.

К рассеянным (диффузным) источникам биогенной нагрузки относятся сельскохозяйственные угодья. Биогенная нагрузка в их пределах формируется как в результате процессов вымывания и выщелачивания, так и в результате эрозионного смыва почвы.

К точечным источникам биогенной нагрузки относятся очистные сооружения объектов животноводства и населенных пунктов. Биогенная нагрузка в их пределах формируется в результате выноса БВ с животноводческими и коммунально-бытовыми стоками.

К фоновым источникам биогенной нагрузки относится опад естественного растительного покрова. Биогенная нагрузка в их пределах формируется в результате процессов вымывания и выщелачивания.

Интенсивность биогенного загрязнения вод зависит как от объема БВ, выносимых в природную среду из различных источников биогенной нагрузки, так и от влияния ряда природных и антропогенных факторов на активизацию или сдерживание миграционных процессов. К таким факторам относятся: поверхностный склоновый сток, почвенный покров, структура и размещение естественных угодий на водосборе, густота гидрографической сети и рельеф.

Особенно сильное влияние на снижение биогенной нагрузки при ее миграции оказывает лесная растительность. Так, например, сток с водосбора при залесенности 64% уменьшается в 2,7 раза по сравнению со стоком с необлесенного водосбора, а вынос фосфора сокращается в 10 раз. Лесные полосы шириной 10 м перехватывают (адсорбируют) 32% фосфора, а при полном переводе поверхностного стока во внутрипочвенный концентрация фосфора уменьшается на 66%. Аналогичная связь наблюдается и для азота, так, в лесных полосах шириной около 20 м содержание нитратного азота в стоке снижается на 15–39%, а аммонийного на 20–50%, причем защитные полосы из хвойных пород в 2,5 раза эффективней, чем из лиственных. Таким образом, БВ, вынесенные из рассеянных (диффузных) и фоновых источников биогенной нагрузки, мигрируя по водосбору до водотока, активно поглощаются естественным растительным покровом. При этом в поглощении БВ участвуют не все естественные угодья, расположенные на водосборе, а только те через которые проходит основная часть склонового стока. Их площадь составляет не более 0,2% от общей площади естественных угодий водосбора [13].

4.2. *Моделирование транспорта БВ по основному водотоку и оценка их поступления в водоем.* Для моделирования транспорта БВ по основному водотоку он разбивается на относительно однородные расчетные участки, в пределах которых площадь поперечного сечения, средняя скорость потока, расход воды, коэффициент продольной дисперсии и интенсивность биогенной нагрузки принимаются постоянными, а расчет равномерного движения осуществляется по формуле Шези. При этом для учета взаимного расположения расчетных участков на водотоке и взаимосвязи рассеянных (диффузных) и точечных источников биогенной нагрузки и расчетных участков целесообразно использовать матричную модель.

Моделирование транспорта БВ базируется на среднегодовых или среднемесячных значениях гидрологических параметров. Однако, учитывая неравномерность внутригодового стока и выноса биогенных веществ, целесообразно использовать месячный интервал дискретности.

Расчетные концентрации БВ в замыкающем створе основного водотока не должны превышать максимальных значений, определяемых из условия обеспечения предельно допустимых экологических норм, предотвращающих эвтрофирование водного объекта. Так, предельно допустимая экологическая норма по критерию эвтрофирования вод для фосфора равна 30 мкг/л, а для азота – 1 мг/л.

Методические подходы к обоснованию экологической безопасности природно-аграрной системы речного бассейна по критерию биогенного загрязнения вод рассмотрены автором в работе [9].

Литература

1. Арефьев, Н. В. Эколого-географическая оценка природной среды при проектировании особо охраняемых территорий / Н.В. Арефьев, В.В. Дмитриев, А.Г. Осипов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2003. – № 4 (34). – С. 181–187.

2. Арефьев, Н. В. Оптимизация пространственной структуры природно-аграрных систем на бассейново-ландшафтной основе / Н.В. Арефьев, Г.К. Осипов, В.В. Гарманов // Сборник трудов симпозиума «Межрегиональные проблемы экологической безопасности» 17–20 сентября 2003 г., Сумы. – С. 390–398.

3. Эколого-географическая оценка природно-ресурсного потенциала территории на основе квалиметрического анализа / Н.В. Арефьев [и др.] // Эколого-экономическое обоснование сбалансированных форм регионального развития в системе «общество-природа» (цели, задачи, решения). – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003, Ч.II. – С. 242–289.

4. Арефьев, Н. В. Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика / Н.В. Арефьев, В.П. Бреусов, Г.К. Осипов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 533 с.

5. Научно-методические основы эколого-экономической оптимизации сельскохозяйственного землепользования / В.В. Гарманов [и др.] // Экономика природопользования. – 2015. – № 3. – С. 43–59.

6. Дмитриев, В. В. Эколого-географическая оценка земель при создании природно-аграрных систем с использованием бассейново-ландшафтного подхода / В.В. Дмитриев, А.Г. Осипов / Сборник трудов симпозиума «Межрегиональные проблемы экологической безопасности» 17–20 сентября 2003 г., Сумы. – С. 399–410.

7. Осипов, А. Г. Методика эколого-географического обоснования аграрного освоения территории / Осипов А.Г., Дмитриев В.В. // Региональная экология. – 2004. – № 1–2 (22). – С. 107–113.

8. Осипов, А. Г. Геоэкологическая оценка пригодности территории Будогощского городского поселения Киришского муниципального района Ленинградской области для рекреационного освоения / А.Г. Осипов, М.П. Долгова // Информация и Космос. – 2014. – № 3. – С. 72–79.

9. Осипов, А. Г. Методика оценки экологической безопасности структуры землепользования по критерию биогенного загрязнения вод при создании и реконструкции природно-аграрных систем / А.Г. Осипов // Информация и Космос. – 2015. – № 4. – С. 106–112.

10. Осипов, А. Г. Многокритериальная оценка земельных ресурсов на основе квалиметрического анализа / А.Г. Осипов // Региональная экология. – 2003. – № 1–2. – С. 31–39.

11. Осипов, А. Г. Научно-методические основы определения экологически допустимого уровня освоения природных ландшафтов при создании природно-аграрных систем / А.Г. Осипов, В.Г. Тимофеев // Информация и Космос. – 2015. – № 2. – С. 85–95.

12. Осипов, А. Г. Эколого-географическая оценка ландшафтов при формировании природно-экологического каркаса территории / А.Г. Осипов // Информация и Космос. – 2015. – № 1. – С. 62–71.

13. Хрисанов, Н. И. Управление эвтрофированием водоемов / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 278 с.