

Мелиорация и рекультивация, экология

УДК 502/504 : 631.6

А. И. ГОЛОВАНОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

МЕТОДОЛОГИЯ МЕЛИОРАЦИИ

Рассмотрены современные методологические подходы к решению насущных задач мелиорации сельскохозяйственных земель с позиций единства мелиоративно-земледельческих производительных сил. Обоснована необходимость комплексных видов мелиорации и комплексного регулирования факторов роста и развития агробиоценозов.

Методологический подход, мелиорация сельскохозяйственных земель, мелиоративно-земледельческие производительные силы, регулирование факторов роста растений.

There are considered modern methodological approaches to the solution of vital tasks of agricultural lands reclamation from the positions of the unity of reclamation – farming productive forces, the necessity of complex types of reclamation and complex regulation of growth factors and development of agricultural ecosystem is substantiated.

Methodological approach, reclamation of agricultural lands, reclamation – farming productive forces, regulation of plants growth factors.

Российская наука всегда отличалась прочным методологическим фундаментом. Системность, стремление к широким обобщениям были свойственны таким русским естествоиспытателям, как В. В. Докучаев — основоположник науки о почве, В. И. Вернадский — заложивший основы современной экологии, А. Н. Костяков — основоположник мелиоративной науки. Современные ученые должны постоянно заботиться не только о накоплении и осмысливании новых знаний в

области мелиорации, но и об упрочнении ее методологического фундамента.

Развитие мелиорации ставит перед учеными серьезные и сложные задачи. В первую очередь речь идет о повышении плодородия земли, о гарантированном производстве продукции, об обеспечении социально-экономических условий устойчивого ведения сельского хозяйства, экологической безопасности сельскохозяйственного производства и мелиорации в частности.

В трудах академика А. Н. Костякова понятие сельскохозяйственной мелиорации (точнее, мелиорации сельскохозяйственных земель) употребляется в двух значениях — как деятельности по коренному улучшению земель для получения высоких и устойчивых урожаев и как науки. Ведущая идея в определении А. Н. Костяковым предмета мелиоративной науки — это управление режимами почв. С этой позиции можно выявить составные части науки, сформулировать цели, наметить главные направления исследований.

Характерная черта мелиоративной науки — ее быстрое развитие и масштабное использование. Коренным образом изменяется технический облик самих оросительных и осушительных систем. Расширяется круг факторов жизнедеятельности сельскохозяйственных культур, поддающихся регулированию в широких производственных условиях, развивается комплексная мелиорация. В разряд первоочередных задач выдвигается совершенствование экономических и организационных отношений для повышения эффективности использования обновленных земель.

Каждый новый этап в развитии предметной области мелиоративного знания делает необходимым методологический анализ изменившегося содержания и границ мелиоративной науки. Согласование потребностей растений с факторами и условиями их роста и развития выступает как основное в предметной области мелиоративного знания. Степень такого согласования определяется уровнем развития производительных сил и социально-экономических отношений. Эти вопросы надо рассматривать с точки зрения особенностей производительных сил мелиоративного земледелия, которые представляют собой сложную совокупность земледельческих, технических, природных объектов и процессов, объединенных общей технологической задачей. Производство продукции на мелиорированных землях характеризуется также специфической для него систе-

мой экономических и организационно-управленческих отношений.

Систему мелиоративно-земледельческих производительных сил следует рассматривать как целостную совокупность трех относительно самостоятельных подсистем.

Первая подсистема — земледельческая. Ведущую роль в ней играет почва, которая при соответствующем вложении в нее определенного количества и качества труда не изнашивается. Правильно обращаться с землей — значит при росте урожаев обеспечивать расширенное воспроизводство ее плодородия. В качестве ведущего средства производства в земледелии вместе с землей выступают и сельскохозяйственные растения. Они являются единственным производителем биомассы, органического вещества, идущего на удовлетворение потребностей общества в продуктах питания, животноводства — в кормах, а промышленности — в сырье. Указывая на ведущую роль растений в земледелии, К. А. Тимирязев отмечал: «Растение составляет центральный предмет деятельности земледельца», «Истинный кормилец крестьянина не земля, а растение» (К. А. Тимирязев. Избр. соч. Т. 3, с. 21) [1].

Прогресс в данной подсистеме будет идти путем дальнейшего улучшения мелиоративного состояния земель, создания новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, отзывчивых на орошение, устойчивых к болезням и вредителям, путем внедрения индустриальных технологий, ландшафтно-адаптированных систем земледелия, освоения научно обоснованных севооборотов, полного обеспечения хозяйств минеральными удобрениями, техникой и др.

Гидромелиоративные системы составляют *вторую подсистему* мелиоративно-земледельческих производительных сил. Они превращают воду из состояния потока в новое состояние почвенной влажности. Из физического фактора природы вода в процессе потребления превращается в физиологический элемент жизнедеятельности

сельскохозяйственных культур. Она становится составной частью почвы как средства производства, но уже в другой подсистеме — подсистеме земледельческих производительных сил. Поэтому невозможно согласиться с мнением, согласно которому гидромелиоративная система не имеет своего конечного продукта. Конечный продукт работы гидромелиоративных систем — почвенная влага, которая в качестве одной из составляющих почвы участвует в процессе производства сельскохозяйственной продукции на мелиорированных землях.

Дефицит водных ресурсов ставит вопрос о внедрении в мелиорацию ресурсосберегающих технологий, что требует резкого ужесточения контроля за потреблением воды. Разработка и внедрение научно обоснованных норм водопотребления должны сопровождаться созданием и применением высокоэффективных методов очистки воды от загрязнителей (солей, тяжелых металлов и пр.) и улучшением ее качества, введением в широкую практику водооборотных систем с многократным использованием воды, повышением КПД систем.

Третья подсистема — природно-территориальные комплексы различных рангов (геосистемы или ландшафты), вовлекаемые в мелиоративный процесс. Гидрологические, гидрогеологические, геохимические, почвообразовательные и другие процессы, вызванные к жизни мелиорацией, как на мелиорируемых землях, так и на прилегающих территориях следует рассматривать в качестве природно-производственных условий земледелия.

Анализ структуры мелиоративно-земледельческих производительных сил позволяет по-новому подойти к решению ряда практических проблем мелиорации, в частности к проблеме реконструкции мелиоративных систем. Традиционный подход связывает решение данной задачи с чисто техническими мероприятиями по замене вышедших из строя или устаревших гидротехнических сооружений на новые, учитывающие достиже-

ния научно-технического прогресса. Между тем ограничивать реконструкцию лишь совершенствованием гидромелиоративной системы неправомерно. Она должна охватывать все звенья мелиоративно-земледельческих производительных сил, в том числе экологическую и земледельческую подсистемы. Вопросы экологической безопасности мелиорируемых и сопряженных с ними территорий, как и вопросы трансформации сельскохозяйственных угодий, совершенствования структуры посевов, внедрения высокопродуктивных сортов растений, интенсивных технологий их выращивания, в полной мере использующих условия, создаваемые мелиорацией, также должны находиться в центре внимания работ по реконструкции мелиоративных систем.

Гидромелиорация — важнейшая составная часть рационального природопользования. Ее смысл — в разработке мероприятий, разумно сочетающих использование природных ресурсов с охраной окружающей среды. Встраивая в естественные экосистемы инженерно-технические компоненты осушительных и оросительных систем, мелиорация тем самым превращает их в управляемые агроэкосистемы гарантированного производства сельскохозяйственной продукции. Вместе с тем, мелиоративные воздействия не ограничиваются рамками агроэкосистем и выходят далеко за их пределы [1].

Гидромелиорация экологична по самому своему существу. Она воздействует не только на почвы, но и на геологическую среду, подземные и грунтовые воды, гидрологию и геохимию вод, приземные слои атмосферы, растительный и животный мир и другие компоненты экосистем. Однако широкомасштабная гидромелиорация приводит порой к обострению экологической ситуации.

Успех приносит лишь мелиорация, обеспечивающая строгое соблюдение закона оптимального соответствия уровня развития производства и состояния природной среды. Поскольку

гидромелиорация связана с пространственным перемещением больших масс воды, говорить о сохранении естественного природного равновесия не приходится. Задача лишь в том, чтобы отрицательные последствия, связанные с изъятием, передвижением и использованием водных ресурсов, свести к минимуму.

Широкомасштабная мелиорация вовлекает в сферу своего действия не только отдельные агроэкосистемы (поля, луга, пастбища), но и целые ландшафты. Когда осушаются или орошаются десятки и сотни тысяч гектаров земель, проблемы экологии при мелиорации должны ставиться и решаться на широкой физико-географической основе. В результате существенно возрастает значение ландшафтно-географического подхода, особенно в связи с задачей прогнозирования экологических последствий как на мелиорируемых, так и на сопряженных с ними территориях.

Необходимо изменить принцип подхода к проектированию, строительству и эксплуатации гидромелиоративных систем. Исходным должен стать проект самого агроландшафта, по отношению к которому гидромелиоративная система выступает как одно из технических средств его формирования наряду с другими мероприятиями.

При осуществлении мелиорации требуют дальнейшей разработки методологические проблемы районирования территорий.

На современном этапе развития мелиорации ключевая проблема — совершенствование структуры производственных отношений, в рамках которой функционируют мелиоративно-земледельческие производительные силы. Все подсистемы последних смогут действовать слаженно и эффективно лишь в том случае, если обслуживающие их специализированные предприятия и организации АПК будут тесно связаны общностью экономического интереса, согласованностью технологических действий, работой в едином производственном ритме на общий конечный результат.

Эффективное использование обновленных угодий, ускорение окупаемости вложенных в мелиорацию средств может быть достигнуто лишь при условии отношения к мелиоративно-земледельческим производительным силам как к единой, целостной системе.

Принципиальное значение имеет также следующая теоретическая установка: совместное управление геологическим и биологическим круговоротом воды и элементами почвенного плодородия может быть достигнуто лишь при условии комплексной взаимосвязи мелиоративно-гидротехнических и агротехнических методов, составляющих единую систему мелиоративных мероприятий. Отсюда вытекает требование комплексного применения различных видов мелиорации (водной, химической, тепловой, газовой, противоэрозионной, культуртехнической, агролесомелиорации и др.).

Ученые-мелиораторы всегда рассматривали мелиоративные мероприятия в комплексе. Еще в 20-е годы прошлого века А. Н. Костяков развивал мысль о подходе к мелиорации как к средству непосредственного регулирования не только водного, но также воздушного, теплового и химико-биологического режимов почвы. Ее сущность состоит в управлении совокупностью основных факторов жизнедеятельности растений инженерными средствами. В исследованиях по комплексной мелиорации вода рассматривается и как экологический фактор, и как орудие труда, осуществляющее ряд агротехнических функций. Как указывал В. Р. Вильямс, направления круговоротов воды и питательных веществ растений совпадают друг с другом почти во всех деталях (за исключением скорости), поскольку зольные и азотные элементы пищи растений присутствуют в воде в виде растворов. Отсюда следует, что все виды мелиорации, включая так называемые простейшие «сухие», — по сути агро-мелиорация: распашка поперек склона, снегозадержание (лесополосы нельзя противопоставлять друг другу,

как это иногда делается, так как они решают общую для них задачу — регулируют водный баланс территории). Во всех случаях вода выступает в качестве основы управления биологическим круговоротом веществ и энергии. Следует не противопоставлять, а разумно сочетать все виды мелиорации в целях успешного земледелия — такова задача.

Решение проблем мелиорации предполагает обращение к целому ряду разделов естественных, общественных, технических и сельскохозяйственных наук, к общенаучным приемам и средствам познания.

Мелиоративная наука — наука прикладная. Она взаимодействует со смежными общетеоретическими и прикладными областями фундаментального знания с целью обнаружения и трансляции в сферу собственных исследований новых, современных идей, подходов и методов. Быстро осваиваются и успешно применяются идеи кибернетики, системного анализа, методы моделирования, исследования операций, программирования, оптимального управления и др. Вместе с тем, необходимо наладить систематическое обсуждение результатов исследований мелиоративных наук с достижениями естественных, технических, сельскохозяйственных и общественных наук. Такого рода обсуждения интенсифицируют поиск новых принципов, подходов и методов решения мелиоративных проблем, что существенно повышает коэффициент использования достижений науки, техники и производства.

Потребности практики побуждают мелиоративную науку приступить к формированию в рамках прикладного знания собственных фундаментальных исследований. Так, разработка методов комплексного регулирования водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель потребовала глубокого изучения почвенно-мелиоративных процессов и закономерностей переноса влаги, солей и элементов питания в системе «почва — растение». В результате были созданы математические модели и разработаны

методы расчета солепереноса в почвах, учитывающие явления диффузии, массообмена, динамики ионнообменной сорбции и гидродинамические факторы конвективного переноса вещества. На основе указанных моделей формируется теория рассоляющего действия дренажа и промывок, мелиорации солонцов. В мелиоративном почвоведении главные усилия в области фундаментальных исследований направляются на создание теории управляемого почвообразования. Данная теория должна сформулировать принципы, методы и правила стыковки параметров мелиоративных систем с процессом коренного повышения плодородия почвы. Большое значение имеет и активизация исследований по вопросам взаимного согласования систем земледелия и параметров мелиоративных систем. Актуальны и проблемы совершенствования теории управления мелиоративными системами.

Сейчас уже недостаточно знания известных законов земледельческой деятельности для разработки теории управления агроэкосистемами. Будучи эмпирическими обобщениями агротехнической практики, такие законы, как закон совокупного действия факторов жизни растений, законы минимума, оптимума и максимума и другие ориентированы прежде всего на управление жизнедеятельностью отдельного растения как усредненного представителя агробиоценоза. Между тем потребности управления факторами жизни растений требуют исследований законов функционирования и развития агроэкосистемы как целого, а также законов формирования в ней продукционных процессов.

Дальнейшие усилия по оптимизации управления факторами жизнедеятельности растений должны идти по линии создания все более адекватных моделей, продукционных процессов в агроэкосистемах и составления на их основе все более полных программ формирования урожая.

Разработка моделей управления агроэкосистемами средствами мелиорации с полным правом может

рассматриваться как теоретическая основа создания ресурсосберегающих и природоохранных технологий, разумно соразмеряющих величину и качество урожая с возможностями эффективно плодородия почв. Эти модели могут быть использованы в качестве теоретической базы, позволяющей разрабатывать научно обоснованные интенсивные технологии получения проектных урожаев на мелиорированных землях. Познавание этих законов под углом зрения оптимизации процессов мелиорации — одна из важнейших задач мелиоративной теории. Ее разработка может в перспективе привести к изменению приоритетов научных исследований, созданию новых направлений, организационной перестройке структуры научных учреждений, повышению требований к теоретическому уровню разработок, технических проектов и подготовке научных и инженерных кадров.

Исходя из сказанного, можно сформулировать систему методологических подходов, используемых в настоящее время для решения насущных проблем мелиорации (в данном случае: методология — учение о структуре, логической организации, методах и средствах деятельности или научного познания) [2]:

исторический подход, заключающийся в анализе опыта мелиорации в предшествующие годы, в оценке применявшихся методов и способов с учетом конкретной общественно-экономической ситуации, в выявлении достижений и ошибок во избежание их повторения. Так, например, при ликвидации частной собственности на землю и введении коллективной собственности потребовалось укрупнение существовавших малых поливных участков в районах с традиционным многовековым опытом орошения, с разрушенной оросительной и водоотводной сетью, с неоправданным увеличением длины поливных борозд, что резко нарушало равновесие между подачей и отводом воды, приводило к ухудшению мелиоративной обстановки. Бюджетное финансирование уменьшило

заинтересованность землепользователей в результатах мелиорации. Быстрый переход на рыночную систему экономики разрушил сложившиеся хозяйственные связи, привел к резкому уменьшению площади поливаемых земель, выходу из строя существующих систем. Накопленный опыт и результаты исследований показали, что при развитии мелиорации были объективно допущены просчеты из-за неучета природных связей, ухудшения экологической обстановки;

системный подход (включает геосистемный, или ландшафтный подход) основан на том, что преобразуемые природные объекты являются целостными, открытыми, развивающимися большими системами; при таком подходе нельзя ограничиваться только административными границами земель без их генетической связи с прилегающими землями и водными объектам;

для рассмотрения вопросов комплексного обустройства водосборов продуктивным является так называемый *катенарный подход*, когда вся территория водосбора рассматривается как целостная цепочка сопряженных фаций (возвышенностей, склонов, понижений), т.е. катен. Этот подход позволяет количественно учесть все типы водного питания при переувлажнении, проследить за степенью влияния орошения возвышенностей и осушения понижений на прилегающие земли, изучить гидрохимические потоки веществ со склонов в реки;

географический подход, заключающийся в рассмотрении мелиорации больших территорий с учетом географической зональности тепло- и влагообеспеченности, почвообразовательных, гидрологических, гидрогеологических и биологических процессов; при этом надо иметь в виду, что вид мелиорации, обусловленный спецификой той или иной зоны, применим только для возвышенных фаций (орошение), потребность в осушении свойственна главным образом пониженным фациям, испытывающим дополнительный приток по

сравнению с зональным притоком вод с примыкающих возвышенностей. Это надо иметь в виду при анализе мелко-масштабных карт районирования территории, например по коэффициенту увлажнения;

балансовый подход, отражающий в упрощенном виде закон сохранения вещества и энергии. Он позволяет, исходя из равенства приходных и расходных статей, сравнительно просто вычислять мелиоративные воздействия: оросительную и поливную норму, необходимость в дренаже, ирригационную способность водоисточников. Простота таких расчетов кажущаяся, так как любое мелиоративное воздействие приводит к изменению всех существующих статей водного, теплового, солевого и пищевого балансов. Этот подход обладает слабыми прогностическими свойствами, его результаты трудно прогнозировать на длительное время;

статистический подход, учитывающий принципиальную особенность природных тел – неоднородность их свойств в пространстве и во времени. Различают неоднородность детерминированную, или генетическую, и случайную, или стохастическую, вызванную совокупностью изменяющихся в пространстве менее значимых факторов. Поэтому природные процессы в среде всегда идут с переменными в пространстве свойствами, что крайне затрудняет их математическое описание, требует многократного измерения варьирующих свойств для получения достоверных статистических характеристик (среднего, дисперсии, законов распределения). На практике требуется установление так называемых расчетных величин заданной обеспеченности. Эти субъективные обстоятельства, усложняющие расчеты, объективно делают природные объекты более устойчивыми в разные годы. Второе обстоятельство, делающее статистический подход необходимым – это изменчивость погодных условий и вызванная ею разная потребность в орошении или осушении в отдельные годы.

Для полноты характеристики работы мелиоративной системы нужно рассчитывать ее действие за все годы наблюдений (не менее 20–30 лет) и затем выбирать расчетные воздействия заданной обеспеченности или надежности. Такие расчеты необходимы и для экономической оценки результатов мелиоративной системы, так как денежные потоки (расходы и доходы) будут отличаться в разные по водности годы;

биологический подход, позволяющий учесть требования растений к регулируемым факторам роста и развития (влажности, засоленности и кислотности почвы, глубине уровня грунтовых вод, влажности и температуре воздуха, продолжительности затопления и др.), количественно оценить влияние мелиорации на продуктивность биогеоценозов. Такой подход возможен при наличии способов оценки продуктивности при разных факторах и условиях развития сельскохозяйственных растений. Такие расчеты необходимы, например, для связи водопотребления растений с влажностью почвы – это предопределяет размер оросительных норм. Продуктивность растений, в том числе их надземной и подземной частей, влияет на пополнение биомассы в почве, из которой формируется гумус, предопределяющий плодородие почвы. Необходим прогноз запасов гумуса при разной степени тепло- и влагообеспеченности почвы, разработка методов расчета уменьшения его запасов за счет биохимического разложения, смыва и вымыва из почвенных горизонтов;

термодинамический подход основан на том, что функционирование земных геосистем – это единый природный процесс, поэтому его описание в принципе тоже должно быть единым, а не дробленным на частные процессы, что гораздо проще, но не всегда точно. Частные процессы изучаются в отдельных науках, знания эти неполные, имеют так называемый феноменологический характер, т. е. отражают только опыт людей и не объясняют причины протекания

процессов. Так, например, законы Ома, Шези, Дарси и им подобные были установлены из простейших опытов и они оказались в основном верными. Полное описание природных процессов возможно с помощью теории неравновесной термодинамики необратимых процессов. Природные объекты можно представлять как термодинамические системы, т. е. как совокупность физических (греческое *physis* – природа) тел, которые могут взаимодействовать энергетически между собой и с другими телами, а также обмениваться с ними веществом. Термодинамические системы состоят из столь большого числа частиц, что их состояние можно характеризовать макроскопическими параметрами: плотностью, давлением, температурой, концентрацией разных веществ.

Природным процессам свойственна некоторая необратимость вследствие рассеивания вещества и энергии в пространстве, а также вследствие неоднородности в пространстве свойств компонентов природы и их температуры.

В основе термодинамики лежат фундаментальные принципы (так называемые начала термодинамики), описывающие поведение энергии и энтропии при любых возможных процессах в системе.

В отличие от частных подходов, рассматривающих простейшие случаи, изучают и полный термодинамический потенциал системы, состоящей, например, из почвы и находящегося в ней почвенного раствора. При этом учитывают воздействие на систему и внутренние взаимодействия между компонентами всех сил: гравитационных, капиллярных, сорбционных, сил внешнего воздействия, осмотических, термодиффузионных, сил электрического поля. В результате получают полные уравнения движения под действием всех сил. Например, при описании движения почвенных вод помимо гравитационных сил надо учитывать внешние, капиллярные и сорбционные силы, а при существенном засолении и осмотические силы, т. е. для такого случая применять уравнение

Дарси, где рассматриваются только силы давления и гравитационные, недопустимо;

экономический подход, заключающийся в получении заданного количества и качества продукции в результате мелиорации при минимально необходимых затратах ресурсов и труда с учетом затрат на поддержание благоприятной экологической обстановки на мелиорируемых и прилегающих землях. Этот подход позволяет устанавливать оптимальную надежность мелиорации: оптимальную водоподачу и водоотведение в разные по водности годы, поддерживать запасы гумуса, обеспечивать требуемое гидрохимическое состояние рек;

экологический подход выражается в обязательной разработке проекта «Оценка воздействия на окружающую среду» и соблюдении всех требований в процессе эксплуатации мелиоративной системы. Помимо этого он реализуется при разработке и применении ландшафтно-адаптированной природосохраняющей системы земледелия на сельскохозяйственных землях, при создании и поддержании требуемой экологической инфраструктуры, в конечном итоге – при создании культурных агрогеосистем, на которых деятельность человека гармонизирована в его интересах и «интересах» природы;

гидромеханический подход, позволяющий теоретически исследовать несложные случаи стационарного и нестационарного движения подземных вод под действием дрен разных конструкций, фильтрации из каналов. Недостатком такого подхода является слабая связь подземных вод с зоной аэрации. Этот подход был использован А. Н. Костяковым, получил развитие в трудах В. В. Ведерникова, С. Ф. Аверьянова, Н. Н. Веригина, В. М. Шестакова и др.;

моделирование в мелиорации – это современный подход обоснования мелиорации, оценки ее эффективности, экологической безопасности, быстрого анализа вариантов проектных решений, долговременного прогнозирования природных процессов при меняющихся

погодных условиях. В основе мелиоративных исследований должны лежать натурные эксперименты, позволяющие наиболее полно, без искажений и упрощений, изучать эти процессы. С этой целью, например, мелиорация земель всегда обеспечивалась большим объемом научных, научно-производственных и производственных исследований. Имелась обширная сеть научных учреждений, экспедиций, опытных станций, строились опытно-производственные системы, пилотные производственные инженерно-мелиоративные системы.

Ценность таких исследований в том, что реальные объекты изучаются в реальных условиях. По их результатам и после обобщения производственного опыта вырабатываются зональные рекомендации по технологиям мелиорации. Исследования на опытно-производственных участках позволяют оценивать на практике теоретические рекомендации и вырабатывать эмпирические рекомендации. Объекты-аналоги помогают в первом приближении принимать расчетные значения параметров, а также в ряде случаев прогнозировать развитие изучаемого объекта. Пилотные системы на небольших площадях способствуют наработке технологий управления, необходимых для эксплуатации крупной системы.

Эти методы используют свойство природы самостоятельно, во всей полноте учитывать и интегрировать процессы и воздействия. Вместе с тем, учитывая сложность организации и дороговизну таких исследований, малую скорость протекания процессов (для изучения реакции почв, подземных вод, воздействия растений на человека нужны годы), маловариантность исследований и их слабую прогностичность, в мелиорации, как и в других видах деятельности и науках, широко применяют моделирование.

Модель – физическое или знаковое упрощенное подобие или аналог реального объекта, явления, процесса. Модель может быть предметной или знаковой.

Требования к моделям в мелиорации:

1. Максимально возможный учет фундаментальных свойств геосистем: целостности (взаимодействие потоков вещества и энергии, взаимовлияние компонентов природы), структурности (модель должна описывать процессы в подсистемах и интегрировать их в единый процесс), изменчивости погодных условий, неоднородности компонентов природы и изменчивости их свойств в пространстве и во времени, нелинейности природных процессов. Любое упрощение нужно вводить осмысленно и количественно обосновывать.

2. Долговременность. Модель должна позволять рассчитывать процессы за ряд лет. Достоверными являются только те результаты, которые получены с помощью временных рядов, в течение которых объект начинает вести себя квазистационарно, наметились тенденции (тренды) процессов, полностью развертываются и затухают переходные процессы.

3. Учет функционирования техногенных компонентов, для чего моделируют отдельно работу сооружений (например, работу шлюза-регулятора или движение воды в канале), воздействие сооружения на геосистему (подтопление, вызванное фильтрацией воды из канала), а также влияние природных процессов на сооружение (движение и накопление наносов в канале, кольматаж и т. п.).

Если модель и моделируемый объект имеют одну и ту же физическую природу, но разные, обычно уменьшенные, размеры, то говорят о *физическом моделировании*.

При знаковом моделировании используют знаковые образования: схемы, графики, чертежи, формулы, графы, слова и предложения в некотором алфавите. Важнейшим видом знакового моделирования является *математическое (логико-математическое) моделирование*, осуществляемое средствами языка математики и логики. Математическая модель – приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью

математической символики. Математическое моделирование позволяет проникнуть в сущность изучаемых явлений. Это мощный современный метод познания внешнего мира, а также прогнозирования и управления, особенно после колоссального развития вычислительной техники.

Достоинство математического моделирования – возможность быстро просматривать много вариантов ситуаций. Недостатки – неполный учет всего многообразия природных процессов, слабая количественная изученность процессов. Поэтому модели должны быть оптимально сложны, чтобы принятые допущения не приводили к существенным ошибкам в принятии решений. Некоторые из очевидных требований к моделям мелиоративных процессов:

учет внутренней неоднородности – как детерминированной, так и стохастической или случайной;

учет нелинейности природных процессов;

учет тепло- и влагообеспеченности для получения статистически достоверных результатов;

создание одномерных моделей, описывающих вертикальный или горизонтальный перенос вещества или энергии.

С помощью математического моделирования можно быстро воспроизводить (прогнозировать) многолетние процессы, что очень важно для оценки работы инженерных гидромелиоративных, рекультивационных, водохозяйственных, природоохранных систем в различные по погодным условиям годы, устанавливать «мощность» инженерной системы (производительность насосных станций, размеры каналов и др.), обеспечивающей ее работу с заданной надежностью. Моделирование позволяет «проиграть» некоторые чрезвычайные ситуации, например, связанные с выходом из строя очистных сооружений и массовым выбросом загрязняющих веществ, нарушением технологий, разрывом продуктопроводов, с проведением военных действий и т. п. Формально это изменение

граничных условий моделей, происходящее в заданное время. На таких моделях можно рассматривать и разные сценарии ликвидации последствий.

Применение биогеохимических барьеров при мелиорации. Наряду с рассредоточением в природе идут и процессы концентрации веществ, исключения их из круговорота, сосредоточения в некоторых областях. Иными словами, наряду с проводимостью природные тела обладают свойствами задерживать некоторые вещества, что можно назвать «барьерностью». В самом общем смысле под *барьером* можно понимать локальное нарушение проводимости, что приводит к ускорению или замедлению потоков веществ и круговоротов в целом.

Барьеры, как природные, так и техногенные (созданные человеком), могут быть следующих видов:

1) механические – когда природное (или созданное человеком) тело работает как фильтр;

2) физические – это испарительный и гидрофизический процессы;

3) физико-химические – когда химические процессы идут на границе раздела фаз – в основном это процессы сорбции и десорбции;

4) химические – когда процессы осуществляются за счет растворения и кристаллизации, связывания, химического разложения;

5) биологические (с удержанием большого ряда макро- и микроэлементов) – биологическая деструкция, избирательное накопление веществ в биоте.

Все виды барьеров могут существовать одновременно, поэтому их называют биогеохимическими. Теория геохимических барьеров разработана А. И. Перельманом. Биогеохимические барьеры – это компоненты или части компонентов геосистем, в которых на относительно коротком расстоянии в результате специфического сочетания механических, физико-химических, биологических процессов происходит избирательное накопление одних химических элементов и удаление других.

Важнейшими из них являются растительный покров, почва, толщи воденасыщенных горных пород, в основном мелкоземов, и застойные скопления подземных вод. Барьерами могут быть плотины, завесы, дрены, уплотненные слои почвы или грунтов.

Человек может управлять биогеохимическими барьерами, усиливая или ослабляя их действие, создавать искусственные барьеры.

Природные биогеохимические барьеры обеспечивают, наряду с другими процессами, естественную самоочищаемость природы, так как в них происходит не только накопление, но и связывание до недоступных для биоты форм токсичных веществ, разрушение токсичных веществ, преобразование их в безвредные вещества.

Механизмы накопления, связывания и разрушения веществ очень разнообразны, но их объединяет общая закономерность: интенсивность этих процессов во многом зависит от обеспеченности территории теплом и влагой. При оптимальном сочетании тепла и влаги биогеохимические барьеры работают эффективней. Человек может в известных пределах регулировать тепло- и влагообеспеченность территорий путем мелиорации и тем самым повышать естественную самоочищаемость.

Естественный или искусственно созданный растительный покров является эффективным биогеохимическим барьером. Во-первых, он обеспечивает перехват воздушных потоков, содержащих пыль, аэрозоли, капельножидкие вещества. Токсичные вещества не только накапливаются на листовых пластинках, но и проникают в устьица, аккумулируясь в тканях листьев. Очищая воздух, особенно в городах и вдоль крупных магистралей, деревья накапливают вредные вещества в кронах. Во-вторых, это утилизация ряда веществ в процессе метаболизма (обмена веществ), например: хорошо развитый и интенсивно продуцирующий биомассу травянистый покров ежегодно потребляет 300...500 кг/га

азота, фосфора (в форме P_2O_5) – 60...120, калия (в форме K_2O) – 300...600 кг/га, в меньших количествах – металлы, в том числе и тяжелые. Это свойство растений используется при утилизации сточных вод путем орошения. Известны растения, выносящие из почвы тяжелые металлы в повышенных количествах, их используют для очистки почвы.

Мощным биогеохимическим барьером является почва – активно функционирующее органоминеральное тело, в котором идут разнообразнейшие физико-химические и биологические процессы, присутствует широкая гамма микроорганизмов. Очищающая способность почвы далеко не безгранична. Она может только до определенного предела защищать растения, подстилающие грунты и подземные воды от загрязнения. Поэтому, решая задачи защиты территорий от загрязнения и очистки (восстановления, рекультивации), необходимо брать на вооружение и другие барьеры. Одним из них может быть гидрофизический барьер – регулирование направления и величины потоков влаги в не полностью (зона аэрации) и полностью водонасыщенных горных породах. Например, уменьшая промываемость почвы и верхних горизонтов подстилающих грунтов, можно в определенной степени защитить жизненно важные водоносные горизонты или наоборот – усилить промываемость почвы для ее очистки. Очень эффективно совместное использование барьеров разной природы [3].

Улучшения качества подземных и речных вод можно достичь управлением биологическим и геологическим круговоротами воды и химических веществ, в котором барьеры играют существенную роль.

В процессе биологического круговорота связываются многие биогены, что помогает сохранению водного объекта. В природных системах интенсификация биологического круговорота достигается не только за счет большого видового разнообразия растений и животных, но и за счет использования естественных биогеохимических барьеров

на пути водных потоков. Барьерами, помимо вышеупомянутых, могут быть возвышения местности и водоупоры, западины на пути подземных и поверхностных вод, малопроницаемые слои почв и грунтов, зоны интенсивного биологического потребления и накопления отдельных химических элементов и др. В качестве естественных барьеров могут выступать такие природные объекты, как заболоченный луг, замкнутый водоем, болото, кустарники, леса. При этом в них должен поддерживаться особый режим пользования, способствующий сохранению барьерных функций.

Улучшение геохимических условий ландшафта с включенными в него водными объектами достигается с помощью линейных и площадных биогеохимических барьеров: природоохранных полос отчуждения вдоль линейных инженерных сооружений, каналов, водохранилищ; лесонасаждений и др. (экологическая инфраструктура). Площадные барьеры можно создавать, меняя водно-физические и химические характеристики почвы и тем самым управляя ее проводящими и сорбционными свойствами. Создание сорбционного геохимического барьера в виде легкосуглинистого гумусированного нейтрального пахотного горизонта путем торфования и землевания приводит к ограничению миграции веществ и снижению интенсивности минерализации торфа. Известкование кислых почв также усиливает их барьерную роль.

При мелиорации земель часто регулируют действия биогеохимических барьеров: глубокое рыхление плотных подпочвенных горизонтов, увеличение

естественной дренированности, изменение скорости впитывания воды, применение противofильтрационных барьеров, разрушение гипсоносных или оглеенных горизонтов и т. п.

Водооборотные гидромелиоративные системы, в которых часть дренажного стока, содержащего полезные вещества, используется для полива, уменьшают загрязнение водных объектов и, по сути дела, выполняют барьерные функции. В устьях сбросных каналов устраивают барьеры в виде биоплато (расширения с водной растительностью), сорбирующих фильтрующих перемычек, очищающих дренажные воды [4].

Список литературы

1. **Айдаров, И. П.** Мелиоративный режим и пути его улучшения [Текст] / И. П. Айдаров, А. И. Голованов // Гидротехника и мелиорация. – 1986. – № 8. – С. 44–47.
2. **Голованов, А. И.** Методологические аспекты мелиоративных наук [Текст] / А. И. Голованов, Р. М. Орлов // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1987. – № 4. – С. 28–35.
3. **Голованов, А. И.** Комплексное обустройство водосборов – дальнейший этап мелиорации земель [Текст] / А. И. Голованов, Ю. И. Сухарев, В. В. Шабанов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 2. – С. 25–31.
4. **Голованов, А. И.** Природообустройство / А. И. Голованов [и др.]. – М. : «КолосС», 2008. – 552 с.

Материал поступил в редакцию 29.04.09.

Голованов Александр Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мелиорация и рекультивация земель»
Тел. 8 (499) 153-96-28
E-mail: a.i.golovanov@mail.ru