Министерство сельского хозяйства РФ

ФГОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет

**Методология природообустройства**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

для магистров техники и технологии по направлению 280400 «Природообустройство»

Краснодар 2011

УДК 502.1(091):631.6

ББК 20.18:40.6

Рецензент: доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой КубГАУ В.О. Шишкин

Учебное пособие «Методология природообустройства» / Сост. С.М. Григоров, А.Д. Гумбаров, Ю.А. Свистунов, В.Т. Ткаченко –КубГАУ:Краснодар, 2011.- 97 с.

Для магистров техники и технологии по направлению 280400 «Природообустройство», обучающихся на факультете водохозяйственного строительства и мелиорации.

Рекомендовано методической комиссией факультета водохозяйственного строительства КубГАУ от 27 октября 2011 г., протокол №2.

Дисциплина «Методология природообустройства» формирует профессиональный облик магистра, интегрирует в себе природоведческие, инженерные знания и даёт новые знания, умения и навыки, необходимые для организации и проведения научных исследований.

В пособии изложены основы мелиорации земель и природообустройства, геосистемный подход к изучению природных систем и природно-техногенных комплексов природообустройства, основные понятия о природно-техногенных комплексах природообустройства: виды, состав, этапы создания, функционирования и управления ПТК, прогнозирование природных процессов и общие подходы и методы их моделирования, мониторинг ПТК природообустройства, а также методика проведения полевых опытов.

**Содержание**

с.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Введение | 4 |
| 1 | Мелиорация земель и ее роль в развитии экономики  Российской Федерации | 5 |
| 1.1 | Мелиорация земель, её виды и задачи | 6 |
| 1.2 | Водные ресурсы Российской Федерации | 10 |
| 2 | Основные этапы развития мелиорации | 14 |
| 2.1 | Мелиорация земель в дореволюционной России | 16 |
| 2.2 | Развитие мелиораций в Советском Союзе | 19 |
| 2.3 | Развитие мелиорации в Российской Федерации | 22 |
| 2.4 | Характеристика земельного фонда Российской Федерации | 24 |
| 2.5 | Потребность в водных мелиорациях | 29 |
| 3 | Основы природообустройства | 32 |
| 3.1 | Понятие природообустройства, его объект и цель | 36 |
| 4 | Основы теории систем. Геосистемный подход | 40 |
| 5 | Свойства компонентов природы | 53 |
| 6 | Природно-техногенные комплексы | 59 |
| 6.1 | Классификация измененных геосистем | 61 |
| 7 | Создание и функционирование ПТК природообустройства | 63 |
| 7.1 | Виды ПТК природопользования | 65 |
| 7.2 | Природная и техногенная составляющие ПТК | 69 |
| 8 | Прогнозирование, моделирование и мониторинг ПТКприродообустройства | 72 |
| 9 | Методы исследований в сельскохозяйственной науке и практике | 84 |
| 9.1 | Проведение исследований в условиях орошения | 99 |
|  | Литература | 101 |

# 

**Введение**

Увеличение общей антропогенной нагрузки на природную среду в Российской Федерации привело к значительному ухудшению состояния земельных ресурсов. На настоящий момент на территории России более половины площадей сельскохозяйственных угодий подвержено водной и ветровой эрозии, а на одной трети отмечается опасность дефляции земель. На значительной части распространены почвы, имеющие повышенную кислотность, отмечается развитие процессов их засоления, переувлажнения, заболачивания и загрязнения.

Резкое ухудшение состояния земельных ресурсов отмечается в Центрально-Черноземном регионе, который входит в группу регионов Российской Федерации с наиболее сильным антропогенным воздействием на природную среду. Снижение качества земельных ресурсов происходит в районе, который имеет по данным РАСХН самый большой в России биоклиматический потенциал и самую высокую денежную оценку сельскохозяйственных угодий. Качество земельных ресурсов в регионах с таким интенсивным воздействием на природную среду можно сохранить в результате уменьшения антропогенной нагрузки на земельные pecypcы, путем создания адаптированных к природно-экономическим условиям природно-антропогенных систем за счет проведения работ по восстановлению качества земель.

Уровень наших знаний в настоящее время не позволяет достаточно эффективно регулировать устойчивость современных ландшафтов к разнообразным антропогенным воздействиям. Усилия и средства обычно направляются на устранение ущерба, уже нанесенного земельным ресурсам. Однако, в основе экологической политики государства должен находиться принцип недопущения нарушений, который может быть реализован лишь путем регулирования антропогенной нагрузки на территорию.

Рациональное использование и охрана земельных ресурсов в регионах с интенсивным антропогенным воздействием на природную среду возможны, лишь на основе создания сбалансированных, высокопродуктивных и устойчивых к антропогенным воздействиям ландшафтных экосистем, максимально адаптированных к местным природно-экономическим условиям.

Земля - специфический вид материальных ресурсов, это материальный базис на котором строится жизнедеятельность человеческого общества. Необходимо помнить, что территория, которая вовлекается в хозяйственный оборот ограничена, что и является причиной дефицита земельных ресурсов.

В современных условиях особенно остро стоит вопрос о рациональном, бережном использовании земель, и как уникального природного тела способного продуцировать биомассу, и как материального носителя производства.

Указанные проблемы требуют обоснованных и своевременных управленческих решений, направленных на оптимизацию сложившейся на сегодняшний день структуры землепользования. Принятие подобных решений сопряжено с обработкой, анализом огромного количества информации природоохранного и ресурсосберегающего направления.

**1 Мелиорация земель и ее роль в развитии экономики**

**Российской Федерации**

Мелиорация земель является объективной необходимостью в деле преобразования природных комплексов, превращения болот и заболоченных земель в высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья, социального и экономического преобразования страны. Как важнейшее звено интенсификации сельскохозяйственного производства мелиорация призвана внести ощутимый вклад в повышение благосостояния жизненного уровня населения нашей планеты.

Водные мелиорации издревле волновали души людей. Оросительные каналы строили ещё древние египтяне, догадавшись таким способом повысить плодородие почв.

Водные мелиорации (орошение и осушение) один из основных путей повышения урожайности сельскохозяйственных угодий, занимающих на планете до 10% площади суши. Шестая часть этих земель мелиорирована, и с них получают от 40 до 50% всех производимых сельскохозяйственных продуктов.

Немногим более ста лет назад в обиход отечественных специалистов вошло слово-термин «мелиорация», тогда заменившее понятия «земельные улучшения» и «поправления полей». В процессе исторического развития понятие и собственно мелиорации распространились не только на почвы, но и на грунты, водные объекты, ландшафты и в целом на окружающую природную среду. В эпоху своего расцвета (золотого двадцатилетия) слово-термин «мелиорации» [стало](http://cia.no) применяться вместо понятия «улучшения». Ныне под термином «мелиорации окружающей природной среды» понимается деятельность, обеспечивающая коренное на продолжительный период улучшение состояния или (и) защиту её от вредных внешних воздействий.

Наша страна по общей территории и площади сельскохозяйственных угодий занимает первое место в мире. Однако её природные условия весьма разнообразны и далеко не в равной степени пригодны для земледелия. По своему географическому положению Россия относится к странам с пониженной биологической продуктивностью, поскольку большая часть её земледельческой зоны расположена на территории с засушливым климатом. Основным средством борьбы с засухой является широкая и комплексная мелиорация.

Однако не только недостаток, но и избыток влаги может отрицательно сказаться на продуктивности сельскохозяйственного производства.

Таким образом, неустойчивые природно-климатические условия, в которых наша страна ведёт земледелие, делают мелиорацию земель одним из обязательных условий развития сельского хозяйства и повышения его продуктивности.

**1.1 Мелиорация земель, её виды и задачи**

В широком смысле под мелиорацией подразумевается комплекс мероприятий, направленных на коренное улучшение природных условий на определённой территории.

Обращаясь к анализу предмета мелиорации, необходимо отметить, что в научной литературе существуют десятки вариантов определения мелиорации: деятельность, наука, отрасль хозяйства, направление, отдельные (или различные) мероприятия, совокупность организационно-хозяйственных и технических мероприятий, улучшение условий производства, основа научно-технической революции в сельском хозяйстве, изменение свойств почв, регулирование их режимов, земельные улучшения и др.

Прежде всего, мелиорация – это один из видов человеческой деятельности, содержание которой составляет его целесообразное изменение и преобразование в интересах людей. Кроме того, собственно мелиорации могут быть реализованы только посредством определенной деятельности.

В пределах определения предмета мелиорации как деятельности она может быть определена и как наука, теоретически обосновывающая деятельность, и как отрасль хозяйствования, созданная для выполнения мелиоративных мероприятий.

Объектом мелиорации, прежде всего, определяют «землю», рассматривая ее как средство для получения сельскохозяйственной продукции. С ростом потребностей человечества возникла необходимость в мелиорации лесов, вод, водоёмов и других компонентов окружающей природной среды.

К компонентам окружающей природной среды, являющимися объектами мелиорации, следует отнести землю и земельные угодья, воду иводные объекты, воздух и воздушную среду, растительность и растительные объекты, климат (микроклимат).

В качестве объектов мелиорации могут служить совокупность компонентов, окружающей природной среды, система их взаимосвязей, природные образования.

Не менее важным фактором в определении термина мелиорация является временной, в соответствии с которым к мелиорациям относят воздействия, проявляемые в течение длительного времени. Хотя такая характеристика весьма неопределённа, а количественный критерий может варьировать достаточно в широких пределах, её присутствие в определении мелиорации необходимо.

Таким образом, можно считать, что мелиорация – это деятельность, обеспечивающая целенаправленное коренное и долговременное улучшение или сохранение потребительских свойств компонентов окружающей среди.

Используя предлагаемое толкование общего термина «мелиорации», можно сказать, что мелиорация сельскохозяйственных земель – это деятельность, обеспечивающая целенаправленное коренное и долговременное улучшение или сохранение почвенного плодородия и условий обитания культивируемых растений.

Что касается отраслевого обозначения мелиораций, то оно может быть использовано при соответствующем толковании, согласующемся с предложенным толкованием общего термина мелиорации.

Виды мелиорации целесообразно назвать по наименованию природообразующих (факторов) средств мелиоративного воздействия на компоненты природной среды или природные объекты мелиорации. Таковыми средствами могут быть: земля, воздух, растительность, бактерии и живые организмы, химические вещества и технические средства.

С учетом этого предлагается различать: земельные, водные, воздушные, химические, растительные, зоомелиорации и технические мелиорации.

Технические мелиорации **–** вид мелиорации, направленных на сохранение или улучшение потребительских свойств земли, осуществляемых посредством укрепления грунта, мелиоративной агротехники, мелиоративной культуртехники.

Земельные мелиорацииземель – вид мелиорации, направленных на сохранение или улучшение потребительских свойств земли, при реализации которых преобразующим фактором или средством воздействия является земля, обладающая другими (отличными) от мелиорируемой свойствами. Она реализуется применением таких мелиоративных мероприятий как замена земель и землевание.

Водные мелиорацииземель – вид мелиорации, осуществляемых посредством подачи или отвода воды, с целью регулирования водного режима земель (почв) и территорий. Этот вид мелиорации является наиболее ёмким. Сюда входят оросительные мелиорации, осушительные мелиорации.

Водные мелиорации, воздействуя главным образом на водный режим земель (почв), оказывают большое влияние на их воздушный, тепловой и микробиологический и вместе с ним на питательный режим и, следовательно, на плодородие почв и направление почвообразовательного процесса.

Изменяя водный режим земель, водные мелиорации влияют также на внутренний влагооборот мелиорируемых территорий и, следовательно, на изменение не только почвенных, но и климатических и гидрологических условий этих территорий в нужном для хозяйства направлении.

От водного режима почвы в значительной мере зависят процессы накопления и разрушения органического вещества. Водный режим, оказывая влияние на плодородие почв, очень сильно (во многих случаях решающе) влияет на ее продуктивность (величину и устойчивость урожаев).

Рекультивационные мелиорации.В настоящее время под рекультивацией понимают комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей природной среды. Рекультивации нарушенных земель подлежат земли, к которым относятся:

* выемка карьеров;
* выработанные торфяники;
* деформированные поверхности шахтных полей (просадки, провалы, и т.д.);
* золоотвалы электростанций;
* полосы трасс трубопроводов;
* промышленные площадки и транспортные коммуникации ликвидируемых предприятий и отдельных объектов.

До последнего времени в России рекультивации нарушенных земель уделялось очень мало внимания, поэтому в стране было восстановлено около 10% их площади.

Наиболее распространёнными объектами рекультивации в настоящее время являются отработанные карьеры строительных материалов, которые расположены в основном вблизи населённых пунктов.

Целью разработки проекта рекультивации карьера является определение основных решений, обеспечивающих наиболее эффективное его использование, установление объёмов, технологии и очерёдности производства восстановительных работ, капитальных затрат на их проведение.

Растительные мелиорации – вид мелиорации, осуществляемых посредством культивирования или поддержания естественных растительных сообществ, путём создания лесополос, кулисных посадок, посева трав и т.д., с целью сохранения или повышения плодородия земель и улучшения жизни человека.

Химические мелиорации – вид мелиорации земель, направленных на улучшение неблагоприятного химического и физического состояния почв и грунтов путём внесения химических веществ с целью создания условий для интенсивного развития сельскохозяйственных культур и придания грунтам необходимых качеств.

Зоомелиорация земель – вид мелиорации земель и земельных угодий посредством использования зоологических методов, направленных на повышение почвенного плодородия.

В соответствии с этим, земельные мелиорации – это мелиорации, осуществляемые посредством использования земли. Водные мелиорации – мелиорации, осуществляемые посредством использования вод и регулирования водного режима. Аналогично можно истолковать и другие виды мелиорации.

Каждый из выделенных видов мелиорации может применяться при мелиорациях любого из компонентов окружающей природной среды и на любом объекте мелиорации.

**1.2 Водные ресурсы Российской Федерации**

Водные ресурсы, пригодные для использования в народном хозяйстве воды рек, озер, каналов, водохранилищ, морей и океанов, подземные воды, почвенная влага, вода ледников и снежного покрова; общий объем водных ресурсов приблизительно 1390 млн. км3, из них около 1340 млн. кмЗ воды Мирового океана. Менее 3% относится к пресным водам (35,8 млн. кмЗ), а доступны для использования всего 0,3%. Теоретически водные ресурсы неисчерпаемы, так как при рациональном использовании они непрерывно возобновляются в процессе влагооборота. Однако потребление воды растет такими темпами, что во многих странах ощущается недостаток водных ресурсов, усиливающийся с каждым годом.

Мировой океан - непрерывная водная оболочка Земли, окружающая материки и острова и отличающаяся общностью солевого состава. По существу Земля это водная планета, так как Мировой океан занимает 70,8% ее территории. В Северном полушарии на долю водной поверхности приходится 60,6%, а в Южном 81%.

Мировой океан делится материками на четыре океана. Самый крупный и глубокий из них Тихий океан. По площади 178,62 млн. км он занимает половину всей водной поверхности Земли. Средняя его глубина (3980 м) больше средней глубины Мирового океана (3700 м). В его пределах находится и самая глубоководная впадина Марианская (11022 м). В Тихом океане сосредоточено более половины объема воды Мирового океана (710,4 из 1341 млн. км ).

Второй по размерам Атлантический океан. Его площадь 91,6 млн. км2, средняя глубина 3600 м, наибольшая 8742 м, объем 329,7 млн. кмЗ. Далее по размерам идет Индийский океан, который имеет площадь 76,2 млн. км2, среднюю глубину 3710 м, наибольшую 7729 м, объем воды 282,6 млн. кмЗ. Самый маленький и самый холодный Северный Ледовитый океан, с площадью всего14,8 млн. км2 (4%о Мирового океана), средней глубиной 1220 м (наибольшая 5527 м), объемом воды 18,1 млн. кмЗ. Иногда выделяют Южный океан условное название южных частей Атлантического, Индийского и Тихого океанов, прилегающих к Антарктическому материку.

Самая высокая температура у поверхности воды в Тихом океане - 19,4 °С; Индийский океан имеет 17,3 °С; Атлантический - 16,5 °С. При таких средних температурах вода в Персидском заливе регулярно нагревается до 35 °С. С глубиной температура воды, как правило, падает. Хотя бывают исключения, обусловленные поднятием глубинных теплых вод. Примером может служить западная часть Ледовитого океана, куда вторгается Гольфстрим. На глубине 2 км на всей акватории Мирового океана обычно температура не превышает 2-3 °С; в Северном Ледовитом океане она еще ниже.

Мировой океан - мощный накопитель тепла и регулятор теплового режима Земли. Если бы океана не было, средняя температура поверхности Земли составила бы 21 °С, то есть была бы на 36° ниже той, которая имеется в действительности.

Трудно переоценить роль Мирового океана в жизни человечества. Он во многом определяет лик планеты в целом, в том числе ее климат, круговорот воды на Земле. В океане пролегли жизненно важные водные пути, соединяющие материки и острова. Колоссальны его биологические ресурсы. В Мировом океане обитает более 160 тыс. видов животных и около 10 тыс. видов водорослей. Ежегодно воспроизводимое количество промысловых рыб оценивается в 200 млн. т, из них примерно 1/3 вылавливается.

Человечество еще только приступает к использованию энергетических ресурсов Мирового океана, в т. ч. энергии приливов. На Мировой океан приходится94% объема гидросферы. С опреснением морских вод связывают решение многих водных проблем будущего.

К сожалению, человечество не всегда разумно пользуется природными ресурсами Мирового океана. Во многих районах истощены его биологические ресурсы. Значительная часть акватории загрязнена отходами антропогенной деятельности, в первую очередь, нефтепродуктами.

Реки это естественные водные потоки, текущие в выработанном ими русле и питающиеся за счет поверхностного и подземного стока с их бассейнов. Всякая река имеет исток и устье, или дельту. Реки с притоками образуют речную систему, характер и развитие которой обусловлены главным образом климатом, рельефом, геологическим строением и размерами бассейна, то есть той прилегающей местности, откуда идет сток.

Существуют различные классификации рек. Все реки разделяются на горные реки с быстрым течением, текущие в узких долинах, и равнинные - с характерным медленным течением и широкими террасированными долинами. Наиболее употребимо деление рек по размерам. К малым относятся реки длиной до 200 км и площадью водосбора до 3000 кв. км. Часто отдельно выделяют ручьи, относят к ним небольшие водотоки, длиной менее 10 км. Наряду с количественными характеристиками, нередко указывается, что малой следует считать такую реку, бассейн которой располагается в одной географической зоне. В повседневном обиходе понятие «малые реки» обычно употребляется применительно ко всем рекам, имеющим только местное значение в масштабах страны или крупного региона.

При любой системе подсчетов малых рек подавляющее большинство. На малые реки длиной менее 100 км приходится около 99% общего числа рек России и свыше 90% их протяженности.

Реки осуществляют грандиозную работу по изменению рельефа Земли, углубляя и перерабатывая свое русло. Показателем эрозионной работы рек во многом служит их мутность, количество взвешенных и влекомых наносов, гидрохимический состав вод. Мутность Дона до его зарегулирования существенно выше 200 мг/л. Особенно велика, бывает мутность горных рек при выходе на равнину: мутность Кубани превышает 700 мг/л.

Реки сыграли выдающуюся роль в истории человечества, с ними связано становление и развитие человеческого общества. С исторических времен реки использовались как пути сообщения, для рыболовства и рыбоводства, сплава леса, орошения полей и водоснабжения. Люди издавна селились по берегам рек. Река основной источник гидроэнергии и важнейший транспортный путь. Реки имеют большое эстетическое и рекреационное значение как неотъемлемый элемент окружающей среды. Широкое вовлечение рек в хозяйственный оборот привело к полному преобразованию многих из них. Сток таких рек, как Волга, Днепр, Ангара, в значительной мере зарегулирован водохранилищами.

Водохранилище - искусственный водоем значительной вместимости, образованный обычно в долине реки водоподпорными сооружениями для регулирования ее стока и дальнейшего использования в народном хозяйстве. Водохранилища могут включать озера, режим уровней которых искусственно изменяется и регулируется гидротехническими сооружениями. Наиболее отрицательные последствия создания водохранилищ: затопление, заболачивание, подтопление земель.

Главная цель создания водохранилищ регулирование стока рек и временных водотоков, который в естественных условиях характеризуется большой неравномерностью во времени. Так, на большинстве рек России за период кратковременного половодья проходит 60-70% годового стока, а летом и зимой отмечается межень. Но именно в межень потребности в воде резко возрастают: летом для отраслей хозяйства, зимой для энергетики.

Сейчас в мире насчитывается более 30 тыс. водохранилищ с суммарным полным объемом около 6 тыс. кмЗ. При этом полезный объем оценивается почти в 3,5 тыс. кмЗ, что близко к 10% среднегодового стока всех рек мира. Общая площадь зеркала водохранилищ мира составляет 600-620 тыс. км2.

Если исключить водную поверхность рек и пойменных озер, существовавших до создания гидроузлов, то получается, что водохранилищами затоплено на Земле 330-350 тыс. км2, или 0,2% территории суши.

В России около 1200 водохранилищ. Их суммарный объем свыше 900 кмЗ, а полезный около 450 кмЗ. Площадь их водного зеркала превышает 100 тыс. км2. Самое крупное по объему водохранилище России Братское водохранилище на р. Ангаре.

Трудно переоценить роль водохранилищ. Они и связанные с ними ГЭС основные поставщики электроэнергии в момент наибольшей потребности в ней, так как тепловые и атомные станции не могут так оперативно менять режим своей работы, как ГЭС. Без водохранилищ невозможно было бы обеспечить гарантированное водоснабжение в районах орошаемого земледелия, а также для такого мегаполиса как Москва, и поддерживать необходимые для речного транспорта глубины. Водохранилища центры водной рекреации и рыболовства. Вместе с тем создание водохранилищ привело к негативным изменениям в жизни людей и в окружающей среде: затоплены и подтоплены ценные пашни и пастбища, перенесены на новое место многие города и населенные пункты.

Замедленный водообмен снижает способность самоочищения природных вод, хотя наличие больших масс воды позволяет разбавлять загрязненные стоки, попадающие в реки и водоемы. Именно поступление загрязненных стоков главная причина неудовлетворительного качества воды во многих водохранилищах.

**2 Основные этапы развития гидромелиорации**

Исторические аспекты развития мелиорации представляют особый интерес, в первую очередь потому, что мелиорация земель, как никакая другая область хозяйства, уже тысячелетия назад требовала совместных усилий десятков и сотен тысяч людей.

Первая плотина была построена в государстве Хорезм в городе Ургенч. Ирригация в средневековом Китае достигла своего расцвета в X-XII веках, в период, предшествовавший нашествию монголов. В Цзиньском государстве орошались обширные площади, занятые культурой риса. Экономической основой жизни этого государства Северного Китая были воды Хуанхэ, сток которой был зарегулирован многими плотинами. Река была и основным транспортным средством этого региона в направлении с запада на восток, и обеспечивала водой все орошаемое земледелие государства. По данным китайских летописей, дамбы, плотины и шлюзы Хуанхэ в XII веке возводили и обслуживали более шести миллионов человек.

Периоды относительного подъема экономики средневековых государств Востока, сопровождавшиеся частичным восстановлением ирригационных сооружений и возвращением в землепользование древнеорошаемых территорий, всегда исторически связаны с периодами централизации политической власти - непременного условия успешного развития водного хозяйства.

Даже естественные факторы периодического запустения окультуренных земель - заболачивание, засоление нередко оказывались связанными с нарушениями в ирригационном хозяйстве государства, вызванными все теми же социальными причинами.

Социально - исторические и естественные факторы усиливали и дополняли друг друга, создавая кризисные ситуации, ставившие под вопрос само существование того или иного средневекового государства.

Период подъема и утверждения капитализма (1640-1870 гг.) неразрывно связан с интенсификацией сельского хозяйства, повышением его товарности и специализации. Развитие тех или иных отраслей земледелия, преимущественное возделывание определенных культур диктовалось требованиями рынка, а отнюдь не интересами населения капиталистических государств, а тем более их колоний, где и человеческий труд, и природные ресурсы эксплуатировались особенно жестоко.

Эти общие для капиталистического строя принципы не могли не сказаться и на развитии орошаемого земледелия, тем более что развитие капитализма вызвало децентрализацию водного хозяйства, обусловленную повсеместным введением частной собственности на земельные и водные ресурсы.

Бурно развивавшаяся промышленность в период становления капиталистического строя требовала максимального количества продуктов питания для растущих городов и разнообразного технологического сырья, основным источником которых стало орошаемое земледелие колониальных стран. Его интенсификация, узкая специализация вплоть до насаждения той или иной монокультуры на территории зависимой страны, резкое повышение товарности земледелия потребовали перехода к регулярному орошению, как его наиболее прогрессивной форме.

Как правило, переход к регулярному орошению производился без учета естественно - исторических факторов, действующих на орошаемых территориях, где эксплуатация земельных и водных ресурсов носила свойственный капиталистической форме присвоения хищнический характер.

В результате огромные массивы орошаемых земель в колониальных или зависимых странах Азии, Африки, Центральной Америки оказались засоленными и практически выведенными из сельскохозяйственного оборота.

Вторичного засоления не избежало и земледелие страны развитого капитализма. К началу 30-х годов нашего столетия в Соединенных штатах Америки было засолено около 3,5 млн. га орошаемых земель в Калифорнии, Аризоне, Вайоминге, Небраске, Монтане и других штатах. Переполивы в первые годы орошения вызвали подъем грунтовых вод до глубины 0,6-1,0 м от поверхности, обширные массивы возделанных полей были превращены в солончаки.

Разумеется, данные о площадях орошаемых земель и их мелиоративном состоянии, приведенные здесь, носили ориентировочный характер: в годы, предшествовавшие второй мировой войне, учет засоленных почв в большинстве стран еще не был налажен, а в ряде государств истинная картина скрывалась.

Однако, по утверждению известного советского почвоведа академика В.А. Коды, для подавляющего большинства капиталистических стран, использующих регулярное орошение, было характерно:

а) игнорирование особенностей природной почвенно-геохимической обстановки;

б) стремление не строить дренажные сооружения с целью удешевления строительства оросительных систем;

в) переполивы почв и большие потери воды на полях и в оросительных системах, которые также с целью снижения затрат, как правило, не облицовывались.

Все эти явления в совокупности способствовали повсеместному повышению грунтовых вод и засолению орошаемых земель, площади которых в последние десятилетия продолжают неуклонно расти.

**2.1 Мелиорация земель в дореволюционной России**

Реформа 1861 года и постепенное проникновение капитализма в сельское хозяйство России, которое было основной отраслью ее экономики, вызвало определенный интерес к освоению земель, расположенных на южных и юго-восточных «окраинах» империи, наиболее отсталых в хозяйственном и социальном отношении.

Частная собственность на земельные и водные ресурсы, неудовлетворительное состояние оросительной сети, примитивные, а, следовательно, малоэффективные, приемы борьбы с засолением земель, низкие урожаи и нещадная эксплуатация беднейших слоев населения были уделом Среднеазиатских областей и Закавказья. Обширные пространства пустынь, полупустынь и сухих степей Средней Азии и Южного Казахстана, где земледелие без орошения вообще невозможно, веками не возделывались.

По сравнению с другими государствами темпы развития мелиорации в России были очень невысокими. За период с 1870 по 1917 гг. расходы царского правительства на ирригацию в Средней Азии составили только 34.9 млн. рублей; работы по орошению земель здесь осуществлялись путем принудительного привлечения местного населения.

Царское правительство проявляло интерес к орошению лишь с точки зрения расширения своих и помещичьих владений или освоения новых земель с целью колонизации. В начале XX века Департамент земледелия содействовал массовому переселению русских крестьян из малоземельных и густонаселенных центральных губерний России в сухие степи южной Сибири, Среднюю Азию и Закавказье. Выявлением и изучение подходящих для колонизации земель занимались видные русские ученые-почвоведы и гидрологи Прасолов Л. И., Неуструев С. С., Филатов М. М., Танфильев Г. И., Полынов Б. Б. и другие. В этих переселениях правительство видело путь к смягчению аграрных беспорядков в центре России. Другой причиной, заставившей обратить внимание на орошение, был голод, вызванный засухами и неурожаями в 1880 и 1891 – 1892 годах.

В этот период был организован ряд специальных экспедиций по вопросам орошения и началось строительство оросительных систем в долине Мургаба и Муганьской степи. Но и черноземные области с их щедрым солнцем и уникальными по своему плодородию почвами страдали от периодических засух. Академик Тулайков Н. М., знаток степного земледелия писал в начале нашего века о русских степях: Здесь не земля родит, а небо. Выпадут в мае – июне обильные дожди – и богатый урожай обеспечен, задует жаркий суховей, не соберешь и на семена.

Десятки поколений земледельцев в этих краях мечтали о воде, и чем сложнее были условия, в которых возделывалась земля, тем нагляднее стали впоследствии результаты орошения.

Другим объектом мелиорации были переувлажненные и заболоченные земли на севере и северо-западе России. От избытка влаги здесь страдали огромные пространства земель – болотами было покрыто почти 10% территории страны. Только во второй половине XIX века в России начали уделять внимание вопросам осушения земель.

В Горецком сельскохозяйственном институте в 1853 – 1860 годах был заложен на большой площади первый в стране гончарный дренаж, построенный для осушения заболоченных тяжелых почв, лугов, торфяников. С 1854 г в институте было введено преподавание специальной дисциплины «Осушение болот».

Начало крупным осушительным работам положила Западная экспедиция по осушению болот, организованная под руководством выдающегося инженера-мелиоратора Жилинского И. И. В последствие была организована и Северная экспедиция по осушению болот.

Работы Западной экспедиции велись в Полесье и центральных губерниях России. С 1873 по 1898 годы экспедицией было вручную построено 4,5 тыс. км мелиоративных каналов и осушено около 310 тыс. десятин болот, но лишь 1% осушенной земли пришелся на крестьянские наделы.

До революции клочки пашни размером от 0,5 до 2 га приносили здесь такой урожай, который позволял крестьянину только не умереть с голоду. А платой за него был нечеловеческий труд по колено в воде, который даже царские чиновники из Департамента земледелия, изредка наезжавшие сюда, называли не иначе как каторжным.

Крупный вклад в решение теоретических и практических задач в области мелиорации земель внесли выдающиеся русские ученые Докучаев В. В. и его школа, Измаильский А. А., Костяков А. Н., Костычев П. А., Димо Н. А., Воейков А. И., Веселовский К. С. и многие другие, однако ни самоотверженный труд передовых ученых, ни их обширные исследования в условиях царской России не могли решить задачу подъема сельского хозяйства путем проведения мелиоративных работ.

Мелиорация осуществлялась в очень незначительных масштабах, захватывая, как правило, лишь казенные земли и имения крупных помещиков. Для проведения осушительных и оросительных работ требовались крупные затраты, которые не окупались нищенским низкопродуктивным земледелием, а судьба населения окраин империи не заботила царское правительство.

Так, с 1870 по 1905 г. на осушение болот израсходовано всего 8,3 млн. рублей, тогда как за тот же период в США было потрачено 167,8, а Англии - 129,9 млн. рублей. Как государственное дело мелиорация получила признание лишь в 1894 году, когда при Министерстве земледелия и государственных имуществ был создан отдел земельных улучшений.

Подводя итог мелиоративных работ в России, А. Н. Костяков писал, что русские ученые установили следующие основополагающие принципы: мелиорация не может выполняться изолированно, а является неотъемлемой составной частью комплекса мероприятий по улучшению природных условий в соответствии с требованиями сельского хозяйства. Он утверждал, что мелиорация земель должна осуществляться в тесной связи с агрономическими и экономическими требованиями и с учетом природных особенностей мелиорируемых территорий. Эти принципы нашли свое подлинное воплощение лишь после Великой Октябрьской социалистической революции.

**2.2 Развитие мелиораций в Советском Союзе**

Победа Великой Октябрьской социалистической революции открыла новую страницу как в теоретических исследованиях в области почвоведения и мелиорации, так в еще большей степени практическом применении результатов этих исследований.

Земельные и водные ресурсы страны стали всенародной собственностью, главным средством производства в сельском хозяйстве нового социалистического государства.

Молодая советская республика еще боролась за свою независимость, преодолевала разруху и голод, формировала Красную Армию, но даже в этот период, в апреле 1918 года Особая комиссия под председательством Ленина В. И. обсуждала проект декрета о финансировании оросительных работ в Туркестане, подготовленный известным русским инженером-ирригатором Ризенкампфом Г. К.

Несколькими днями раньше та же комиссия обсуждала вопрос о развитии хлопководства в Туркестане и 9 апреля 1918 года В. И. Ленин подписал декрет СНК РСФСР «Об отпуске оборотных средств Комитету хлопкоснабжения для обеспечения текстильной промышленности хлопком». План ирригационных работ, составленный Ризенкампфом Г. К., Лодыгиным Б. И. и другими, лег в основу другого исторического декрета СНК РСФСР «Об ассигновании 50 млн. рублей на оросительные работы в Туркестане и об организации этих работ», подписанного Лениным В. И. 17 мая 1918 г.

Ленин В. И. связывал развитие мелиорации с укреплением классовой базы революции в сельском хозяйстве, с подъемом культуры и индустриального производства в районах национальных окраин и существенным улучшением условий жизни и труда крестьянства и неоднократно подчеркивал социальное значение мелиоративных мероприятий, рассматривая их как важнейшее звено развития экономики страны в целом.

Первые шаги Советской власти в нашей стране стали и первыми шагами развития мелиорации земель.

Первый декрет об ассигновании средств на мелиоративные работы в Туркестане, разработанный при непосредственном участии В. И. Ленина, отличался исключительной конкретностью и по существу стал планом развития мелиорации земель этого региона на многие годы. Его текст содержал следующие указания:

а) утвердить план работ по увеличению обеспечения русской текстильной промышленности хлопком, заключающийся в орошении 500 тысяч десятин Голодной степи Самаркандской области и в обеспечении головными сооружениями ирригационной системы, охватывающей площадь в 40 тысяч десятин Дальверзинской степи, расположенной против Голодной степи по другую сторону реки Сырдарьи;

б) в орошении 10 тысяч десятин Уч-Курганской степи Ферганской области и в регулировании там же туземного водопользования на площади в 20 тысяч десятин;

в) в устройстве водохранилища у Дупулинского моста на реке Заравшан для освобождения путем регулирования речного стока реки около 100 тысяч десятин под культуру хлопчатника;

г) в окончании постройки ирригационных систем в долине реки Чу на площади 94 тысяч десятин.

Тем же декретом было предусмотрено создание специального Управления ирригационных работ в Туркестане (сокращенно Ир-тур), председателем коллегии которого был назначен Ризенкампф Г. К.

В стране, истощенной войной и разрухой, работы по орошению крупных массивов земель разворачивались с большими трудностями. Однако уже в конце 1920 года в своей речи на совещании уездных, волостных и сельских исполкомов В. И. Ленин отметил, что текстильные фабрики начинают оживать, т. к. благодаря победам в Туркестане они получили туркестанский хлопок.

В 1921 г. молодую Советскую республику постигло тяжелое стихийное бедствие катастрофическая засуха. 29 апреля 1921 г.. В. И. Ленин подписал постановление Совета труда и обороны «О борьбе с засухой», в котором борьба с засухой и ее последствиями возводилась в ранг общегосударственной задачи, являющейся делом первостепенной важности для сельскохозяйственной жизни страны.

Народному комиссариату Земледелия была поручена организация и внедрение различных агротехнических, мелиоративных и лесохозяйственных мероприятий, направленных на то, чтобы сделать менее зависимым от неблагоприятных погодных условий сельское хозяйство в районах, подверженных влиянию систематических засух.

Постановление предусматривало необходимость причинять экстренные меры:

* по приведению в порядок и ремонту ирригационных сооружений, оросительных систем и орошаемых участков, находящихся в Туркестане, Киргизской республике, на Северном Кавказе и в Средне- и Нижнее - Волжских районах;
* по широкому распространению мер по отношению к установке, простейших водоподъемных приспособлений;
* рациональному использованию всех орошаемых площадей преимущественно под наиболее продуктивные культуры;
* другим мелиоративным работам, направленным к увеличению посевной площади в районах с оптимальными или избыточными условиями влажности и в частности, к увеличению луговых и кормовых площадей.

Правительство первого в мире социалистического государства рассматривало мелиорацию не только как средство решения проблем земельного и водохозяйственного устройства отдельных областей и районов страны, но прежде всего как путь коренного переустройства сельского хозяйства страны в целом.

В соответствии с планом ГОЭЛРО к наиболее актуальным и перспективным программам мелиорации было отнесено орошение земель засушливых районов Заволжья, орошение ряда областей Средней Азии и Северного Кавказа, осушение Мещерского края и Колхидской низменности, мелиорация земель в Белоруссии, на Украине и в других районах.

Значительную роль в общем подъеме сельского хозяйства в Республике сыграли мелиоративные объединения и товарищества, созданные в нечерноземной России, в районах избыточного увлажнения.

Ленин В. И. придавал огромное значение участию в мелиоративных работах самих крестьян, в августе 1921 г. им было подписано постановление СТО о мелиоративных товариществах, которые стали первой школой коллективного труда крестьян.

Период восстановления в молодой советской республике (1923 – 1927 гг.) характеризуется широким развитием мелиоративных работ - в 1923 г в стране был впервые составлен детальный план сельскохозяйственной мелиорации и началось последовательное введение в строй орошаемых площадей в Дагестане, Азербайджане, Грузни, Армении.

Еще в ноябре 1922 г был открыт Зчмиадзинский канал, в мае 1923 г. канал им. Октябрьской революции в Дагестане и оросительный канал им, В. И. Ленина.

В Туркестане планировалось не только восстановление довоенных орошаемых площадей, но и их увеличение к 1927 г на 600 тыс. десятин, а также значительное техническое усовершенствование всего водного хозяйства Туркестана.

Тяжелая засуха 1924 г, охватившая Поволжье и прилегающие к нему губернии, еще повысила интерес к проблемам орошения, как среди самого населения, так и среди специалистов.

В этот период разработкой мелиоративных мероприятий для засушливых районов занимались Костяков А. Н., Скорняков Е. Е., Вильяме В. Р. и другие выдающиеся ученые нашей страны.

В 1925 г. был принят ряд постановлений, определяющих дальнейшую планомерную борьбу с засухой, которая развернулась в годы первой пятилетки.

В области водного хозяйства и мелиорации первая пятилетка была, прежде всего, периодом широкого развития хлопководства и создания собственной сырьевой базы для текстильной промышленности страны. ЦК ВКП(б) предложил советским мелиораторам - сосредоточить все внимание и средства на расширении площадей, занятых хлопком, восстановить в хлопководческих районах разрушенные оросительные системы и повысить эффективность действующих систем.

Было предложено в кратчайший срок закончить рассмотрение вопроса о строительстве новых оросительных систем на Вахте, Чирчике, Ангрене, о реконструкции ирригационных систем Хорезма.

**2.3 Развитие мелиорации в Российской Федерации**

Для сравнения можно отметить, что около 4/5 территории РФ находится к северу от 49 параллели, по которой США граничит с Канадой, 2/3 сельскохозяйственных угодий РФ расположены в районах со среднегодовой температурой ниже + 5°С, а в США только 10 %.

Таблица 1 - Сравнительные показатели мелиорации земель

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показатели | РФ | США |
| Население, млн. чел | 150 | 240 |
| Площадь территории, млн. км | 17,1 | 9,4 |
| С.-х. угодья млн. га | 222 | 568 |
| Пашня млн. га | 133 | 178 |
| Мелиорированных земель млн. га | 10,7 | 60 |
| % от пашни | 8,0 | 33,7 |
| на 1 чел, га | 0,07 | 0,25 |
| в т.ч. орошение, млн. га | 5,6 | 20 |
| % от пашни | 4,2 | 11,2 |
| на 1 чел., га | 0,04 | 0,08 |
| осушение, млн. га | 5,1 | 40 |
| % от пашни | 3,8 | 22,5 |
| на 1 чел., га | 0,03 | 0,17 |

В районах с длительностью безморозного периода свыше 170 суток в РФ находится менее 15 %, а в США – 70 %. В РФ менее 400 мм осадков в год получают почти 30 % сельскохозяйственных угодий, а в США – 10 %.

При этом процент мелиорированной пашни в США составляет 33,7 %, а в РФ лишь 8,0 %.

Природные условия, необходимость повышения эффективности сельскохозяйственного производства на основе роста почвенного плодородия и биологической продуктивности определяют необходимость развития мелиорации.

Анализ таблицы показывает, что по общим объемам, удельным показателям развития мелиорации земель наша страна существенно отстает от США. Масштабность ее развития в России на сегодняшний день существенно отстает от передовых и развитых стран мира. При этом необходимость повышения эффективности сельского хозяйства, его стабилизации на фоне невысокой биологической продуктивности, определяют целесообразность широкого развития мелиорации земель.

**2.4 Характеристика земельного фонда РФ**

Повышение жизненного уровня народа - объективная закономерность развивающегося общества. При этом основное внимание уделяется надежному обеспечению населения высококачественными продуктами питания. В современных условиях ресурсы продовольствия создаются в трех отраслях народного хозяйства: сельском, рыбном и лесном. Наиболее надежным и перспективным источником производства продуктов питания остается сельское хозяйство. Одна из наиболее важных особенностей сельского хозяйства - главные средства производства представлены живыми организмами, кроме того, уровень его развития, стабильность в значительной степени определяются уровнем почвенного плодородия и климатическими факторами.

Согласно общепланетарной шкале РФ относится к группе стран с пониженной биологической продуктивностью сельскохозяйственных угодий. В Китае и США, например, гектар продуктивнее нашего в среднем в 2 раза, в Австралии в 3 раза, Индии и Бразилии - более чем в 4 раза. Это вызвано географическим положением территории.

Общая площадь земельных ресурсов России составляет 1,71 млрд.га. Почти 2/3 территории приходится на зону вечной мерзлоты. Более 1/2 территории занято лесами и кустарником. Сельскохозяйственные угодья занимают 222 млн. га из них пашни 133 млн. га (в США - 178 млн. га).

Необходимость повышения эффективности сельского хозяйства на основе роста почвенного плодородия и биологической продуктивности определяют необходимость развития мелиорации.

Мелиорация сельскохозяйственных земель - это деятельность, обеспечивающая целенаправленное коренное и долговременное улучшение или сохранение почвенного плодородия и условий обитания культивируемых растений. Виды мелиорации принято называть по наименованию средств воздействия на компоненты природной среды пли природные объекты. С учетом этого предлагается различать: земельные, водные, воздушные, химические, растительные, зоомелиорации и технические мелиорации. Каждый вид мелиорации может быть реализован посредством проведения различных мероприятий, которые в спою очередь, реализуются через способы и приемы.

Инженерные мелиорации (улучшение инженерией) комплекс технических мероприятий, обеспечивающих улучшение состояния или защиту природных объектов от вредного воздействия природных и антропогенных процессов инженерными средствами, технологиями и приемами.

Правдивей Ю.П., под термином «инженерная» мелиорация понимал «комплекс технических приемов (мероприятий) и сооружений для улучшения природных условий осваиваемых и эксплуатируемых участков земли».

Термин имеет более чем столетнюю историю, но в настоящее время применяется относительно редко. Его влияние связано с тем, что изначально вопросы мелиорации земель решали инженеры, используя знания и приемы строительных работ, устройства каналов, дренажа. Инженерные мелиорации в последующем рассматривались в качестве антипода сельскохозяйственных мелиораций, несмотря на то, что при реализации последних использовались инженерные приемы, а орошение и осушение осуществлялось инженерами-гидротехниками. В целях дальнейшего разделения областей ведения в последующем под инженерными мелиорациями стали понимать мероприятия, проводимые не при улучшении почв, а только при улучшении грунтов, используемых в строительной деятельности.

Различают три основных вида мелиорации: инженерную (гидромелиорацию), сельскохозяйственную и противоэрозионную, которые, в свою очередь, имеют несколько типов. По утверждению К.Л. Являповой типом инженерных мелиорации определена - гидромелиорация, задачами которой являются орошение, осушение и рассоление земель. В область деятельности инженерных мелиорации входит защита земель от разрушительных воздействий водной среды, защиту от селей и оползней, предупреждение оврагообразования и другие мелиоративные мероприятия, реализуемые с применением инженерных систем и сооружений.

Широкий спектр мероприятий и приемов инженерной деятельности по мелиорации объектов природной среды, осуществляемой в целях их охраны и использования различными областями, не позволяет получить точное определение термина. Вместе с тем, необходимость инженерной составляющей при проведении различных мелиоративных мероприятий вызвала появление ряда наименований мелиорации, содержащих слова «инженерно...» и «инженерная». Среди таковых: инженерные лесомелиорации, инженерно-геологические, инженерно-сельскохозяйственные и биоинженерные мелиорации. Вид, характер и объем инженерной составляющей в указанных видах мелиорации различен. Под инженерной составляющей таких мелиорации понимают инженерные сооружения, устройства или элементы взаимоувязанные с другими средствами мелиоративного воздействия, при отсутствии которых эти воздействия не могут быть реализованы или их эффективность значительно снижается. Необходимо отметить, что без инженерного обеспечения и без инженерной инфраструктуры многие виды мелиорации не могут быть реализованы в принципе. Отметим и то, что имеется мнение о том, что инженерную составляющую в ряде мелиорации составляет их расчетная и конструктивная часть (инженерные расчеты и конструкции). В связи с наличием инженерной составляющей в ряде видов мелиорации специалистами предлагается определять их терминами: «инженерно-мелиоративные мероприятия», «инженерные мероприятия, инженерно-технические мероприятия». Имеются предложения об использовании понятия «технические мелиорации», по существу соответствующие представлениям об инженерных мелиорациях.

В настоящее время деление мелиорации на инженерные и неинженерные носит условный характер и вряд ли целесообразно, что и предопределило крайне редкое использование термина «инженерные мелиорации».

Под термином «инженерная мелиорация» следует понимать комплекс технических приемов (мероприятий) и сооружений для улучшения природных условий осваиваемых или эксплуатируемых участков земли. Не все, что создано природой, может быть использовано в первоначальном виде. Природа не постоянна. Ее развитие продолжается, к тому же нередко, неосознанная деятельность человека оставляет заметные отрицательные последствия в природной среде. Улучшить природные свойства, устранить отрицательные последствия деятельности человека призвана инженерная мелиорация.

Инженерная мелиорация - многоплановая наука. Область ее деятельности весьма широка. Это - осушение затопленных территорий с целью оздоровления местности, сельскохозяйственного использования, добычи полезных ископаемых ресурсов. При осушении подтопленных территорий открываются новые возможности для гражданского и промышленного строительства, создания новых земельных фондов.

Орошение решает задачи доставки и равномерного распределения воды на сельскохозяйственных угодьях, испытывающих в естественных условиях недостаток влаги. С применением орошения возможно сельскохозяйственное освоение новых ранее не используемых земель.

Обводнение подразумевает перераспределение водных ресурсов и увеличение длины и густоты водотоков, с целью ликвидации дефицита воды в промышленных и сельскохозяйственных районах, на пастбищах, курортах. При обводнении степей, пустынь и полупустынь народное хозяйство значительно расширяет свою производственную и кормовую базу.

Предотвращение разрушительных воздействий водной среды предусматривает цель - защитить землю, строения, культурное наследие от водной стихии. К разрушительным стихийным явлениям относятся наводнения, селевые потоки, волны на морях и водохранилищах. К последствиям этих явлений относится не только утрата материальных ценностей, но и гибель людей. Искусство инженерной мелиорации позволяет существенно снизить наносимый Природой ущерб.

Таблица 2 – Состояние сельскохозяйственных угодий РФ

|  |  |
| --- | --- |
| Показатели | Площади, млн. га |
| Сельскохозяйственные угодья, всего | 222 |
| в том числе: пашня | 133 |
|  |  |
| переувлажненные | 16 |
| каменистые | 12 |
| заболоченные | 10 |
| кислые | 73 |
| засоленные и осолонцованные | 40 |
| с низким содержанием фосфора | 36 |
| закустаренные и заросшие мелколесьем | 13 |
| подверженные эрозии и дефляции | 124 |
| загрязненные выбросами предприятий | 62 |
| радиационно загрязненные | 5 |
| луга и пастбища, нуждающиеся в коренном  улучшении | 55 |
| подверженные опустыниванию | 9 |

Борьба с оползнями и оврагообразованием направлена на сохранение и расширение земельного фонда, предотвращение ущерба от завалов дорог, строений, водотоков.

Неудовлетворительное состояние сельскохозяйственных угодий, снижение их плодородия является одной из причин низкого уровня и неустойчивости сельскохозяйственного, производства РФ. Только за последние 10 лет практически удвоились площади засоленных, дефляционно-опасных и подверженных эрозии сельхозугодий, на 20-30 % увеличились площади кислых и осолонцованных почв таблица.

Важное место в объеме инженерно-мелиоративных мероприятий отводится сельскохозяйственным водным мелиорациям.

Водные мелиорации земель - вид мелиорации, осуществляемый посредством подачи или отвода воды, сохранения и перераспределения влаги с целью регулирования водного режима земель (почв) и территорий.

Таким образом, основным объектом водных мелиорации является земля - один из компонентов окружающей природной среды, а основным преобразующим фактором (средством) под воздействием которого осуществляется мелиорация, является вода.

Водные мелиорации, воздействуя главным образом на водный режим земель (почв), оказывают большое влияние па их воздушный, тепловой и микробиологический и вместе с ним на питательный режимы и, следовательно, на плодородие почв и направление почвообразовательного процесса.

Изменяя водный режим земель, водные мелиорации влияют также на внутренний влагооборот мелиорируемых территорий и, следовательно, на изменение не только почвенных, но и климатических и гидрологических условий этих территорий в нужном для хозяйства направлении. От водного режима почвы в значительной мере зависят процессы накопления и разрушения органического вещества. Водный режим, оказывая влияние на плодородие почв, очень сильно влияет на ее продуктивность - величину и устойчивость урожаев.

Водные мелиорации земель реализуются посредством проведения различных мелиоративных мероприятий, которые в свою очередь реализуются через способы (методы) и приемы.

Орошение - мелиоративное мероприятие по реализации водных мелиорации земель, осуществляемое путем подачи воды из водного источника (наземного или подземного) в целях регулирования водного и связанных с ним воздушного, солевого, теплового режимов почвы.

Поверхностное орошение - способ орошения, осуществляемый путем подачи воды непосредственно на поверхность почвы затоплением, по полосам и бороздам и распределения ее в вертикальном направлении гравитационными и капиллярными силами.

Дождевание - способ орошения, осуществляемый путем распыления над поверхностью почвы и растений искусственного дождя, создаваемого специальными аппаратами (устройствами).

Внутрипочвенное орошение - способ орошения, осуществляемый путем подачи воды к корням растений из увлажнителей, расположенных ниже поверхности земли.

Капельное орошение- способ орошения, осуществляемый путем подачи воды к корням растений через специальные микроводовыпуски -капельницы.

Л и м а н н о е орошение - способ орошения, осуществляемый путем задержания и использования талых вод (местного стока) с помощью водоудерживающих и водораспределительных валов и гидротехнических сооружений для однократной влагозарядки почвы.

Паводковое орошение - способ орошения, осуществляемый путем использования паводковых вод для однократной влагозарядки почвы

**2.5 Потребность в водных мелиорациях**

Размещение водных мелиорации зависит от увлажненности территории, её топографии, обеспеченности растений влагой, вида возделываемых культур и типов почвы.

Естественное увлажнение почв и растений зависит от осадков, времени и характера их выпадения, а также от интенсивности испарения, которое обусловлено температурным режимом и влажностью воздуха, интенсивностью ветра, свойствами почв и растений и другими факторами.

Увлажненность территории характеризуется коэффициентом увлажненности, который представляет собой комплексную характеристику территорий. С помощью этого коэффициента *Кu* могут быть оценены тепло и влагообеспеченность территории (таблица 1.1) Значение показателя увлажнения *Кu* определяется в виде отношения



*Р* - годовое количество осадков, мм;

*ЕТ0* - годовая испаряемость, мм,

или 

*Vа* - активные влагозапасы в метровом слое почвы на начало расчетного периода, мм;

*Р* - осадки на тот же период, мм;

*ЕТо* - эвапотранспирация за тот же период, мм с температурой воздуха 50 С;

или  

*Р* - годовое количество осадков, мм;

 - сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха за год, мб,

или 

Ки - гидротермический коэффициент (ГТК);

*Р* - осадки за теплый (указанный ниже) период, мм;

 - сумма среднесуточных температур воздуха за период, когда они завышают 100 С.

Выбор мелиоративных мероприятий в различных зонах увлажнения и в соответствующих им природных зонах с хорошо выраженной широтной зональностью может быть осуществлен в соответствии с таблицей 2.

В условиях недостаточного увлажнения, с преобладанием восходящего движения почвенной влаги, наиболее выраженными являются процессы иссушения и повышения солевой концентрации почвенных растворов этих слоев при обеспеченной аэрации их. В условиях же избыточного увлажнения, где преобладает нисходящее движение почвенной влаги, наиболее развитыми являются процессы переувлажнения и связанного с этим сильного уменьшения аэрации почвы и обеднения питательными элементами.

Таблица 3 - Мелиоративные мероприятия в различных зонах увлажнения

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Зона увлажнения | Природная зона | Показатель увлажнения Кu | | | | Мелиоративные мероприятия |
|  |  |  |  |
| Избыточно  влажная | Тайга на глееводзолистых и подзолистых почвах | >1,33 | >1,2 | >0,6 | >1,6 | Осушение |
| Влажная | Тайга и лиственные леса на подзолистых почвах | 1,33-1,00 | 1,2-0,86 | 0,6-0,45 | 1,6-1,3 | Осушение, осушение-орошение, теплорегулирование |
| Слабозасушливая | Лесостепь | 1,00-0,77 | 0,85-0,51 | 0,45-0,35 | 1,3-1,0 | Увлажнение: водозадержание, снегозадержание, влагосбережение и др. |
| Засушливая | Типичная степь на обыкновенных черноземах | 0,77-0,55 | 0,50-0,41 | 0,35-0,25 | 1,0-0,7 | Увлажнение, орошение |
| Очень засушливая | Степь на южных черноземах и темно-каштановых почвах | 0,55-0,33 | 0,40-0,31 | 0,25-0,15 | 0,7-0,4 | Орошение, увлажнение |
| Сухая | Полупустыня на светло-каштановых почвах | 0,33-0,22 | 0,30-0,19 | 0,15-0,10 | 0,4 | Орошение |
| Очень сухая | Пустыня на бурых почвах | 0,22 | 0,18-0,05 | 0,10 | - | Орошение |

Если водный режим данной территории, при надлежащей агротехнике, слагается таким образом, что в определенные ответственные периоды развития культур устойчиво, в многолетнем разрезе, наблюдается дефицит влаги в активном слое, необходимо:

1) сокращение всех бесполезных расходных элементов водного режима и, прежде всего испарения почвой;

1. усиление приходных элементов водного режима и, прежде всего максимальное сохранение и использование естественных ресурсов влаги и атмосферных осадков;
2. восполнение остающихся после этого дефицитов влаги до требуемой величины путем искусственного орошения, т.е. введения в естественный водный режим дополнительного фактора.

Если же водный режим данной территории, при надлежащей агротехнике, слагается таким образом, что в ответственные периоды развития культур устойчиво наблюдаются избытки влаги, необходимо сокращение приходных и усиление расходных элементов водного баланса и удаление избытков поверхностных и почвенно-грунтовых вод путем осушения.

# 3 Основы природообустройства

Природообустройство – это особый вид деятельности, заключающийся в улучшении компонентов природы для повышения их потребительской стоимости, восстановлении нарушенных компонентов и защите их от природных стихий и негативных последствий природопользования.

Один из принципов природообустройства – принцип интеграции знаний – гласит, что знания природообустройства не сводятся к знаниям отдельных частных наук. Один из элементов такого собственно нового знания - учение о природно-техногенных комплексах, которое опирается на математику, физику, теорию систем, естественные науки (экологию, физическую географию и её раздел ландшафтоведение, экологию, почвоведение, гидрологию, климатологию, гидрогеологию), технические науки (мелиорацию и рекультивацию земель, гидравлику, гидротехническое строительство), экономику, использует знания социологии и правоведения.

Природно-техногенный комплекс природообустройства – изменённая геосистема, содержащая помимо природной составляющей техногенный блок, управляющий свойствами компонентов природы и природными процессами для достижения заданной социально-экономической цели.

В качестве примера можно назвать оросительную систему – один из природно-техногенных комплексов природообустройства, который решает задачи мелиорации сельскохозяйственных земель для повышения их плодородия. Встроенная в орошаемые земли оросительная система существенно изменяет протекающие природные гидрологические, гидрохимические и иные процессы. Кроме мелиоративных систем природообустройство создает и другие ПТК, поэтому полезно рассматривать их общие свойства, строение, принципы создания и управления.

Следует отметить, что идея систем, сочетающих в себе природные и антропогенные элементы, в науке не нова. Бурное развитие представлений о техно-природных, геотехнических, деятельностно-природных системах относится ко второй половине 20 века.

В географии получила распространение концепция геотехнической системы как одного из проявлений системного подхода к изучению взаимоотношений природы и общества. Эта теория отличается всесторонним исследованием процесса вхождения, взаимовлияния, сращивания технических устройств и природных комплексов, органического соединения технических элементов с природными в единое целое в процессе выполнения техногенным блоком различных социально-экономических функций.

Объектами изучения в ней являются не только природные комплексы, преобразованные человеком, как, например, в антропогенном ландшафтоведении, но совершенно новые структуры природно-технического характера. Человек в этой системе выполняет функцию планомерного конструирования геотехнических систем или, другими словами, функцию управления системой в условиях ее динамичного развития.

Становление концепции геотехнической системы в географии происходило в 60-70 годы XX века. Среди ученых, внесших значительный вклад в разработку идеи геотехнической системы, были Г.Ф. Хильми, И.П. Герасимов, Л.Ф. Куницын, В.С. Преображенс кий, А.Ю. Ретеюм, И.Ю. Долгушин, К.Н. Дьяконов, Л.И. Мухина и многие другие.

В словаре-справочнике Н.Ф. Реймерса «Природопользование» есть определение геотехнической системы как совокупности природных объектов и технических сооружений, находящихся в тесной взаимозависимости.

Необходимость изучения природно-техногенных комплексов не надумана. Человечество не имеет адекватных представлений о «жизни» природы в условиях техногенного воздействия, поскольку не имеет соответствующих инструментов познания – представлений о гетерогенных и гетерархированных системах, включающих деятельностные и природные компоненты. В этих условиях невозможно накопление позитивного опыта проектирования и эксплуатации таких систем. Выход из этой ситуации – применение классификаций, которые могут позволить систематизировать и обобщить опыт отдельных разработок, а затем – переносить этот опыт. Предлагается построить новую действительность мысли: мир техно-природных и природно-технических объектов разного уровня сложности, особую техно-природную систему познания – типологически и системно организованную.

Характерно, что в названный период природно-техногенные комплексы природообустройства не могли быть изучены с необходимой глубиной, поскольку авторы не отделяли такие системы от систем природопользования. Работы А.И. Голованов, Р.М. Орлов показали, что существует особый вид деятельности человека, направленный на увеличение полезности геосистем. Особые принципы этой деятельности выражаются и в особенностях создаваемых природно-техногенных комплексов.

На современном этапе для развития природообустройства важно на основе разработанных принципов и геосистемного подхода перейти к формированию системы познания таких комплексов.

Еще основоположник теории мелиорации в России академик А.Н. Костяков уделял внимание структурному подходу к изучению мелиоративных систем. В состав мелиоративной системы А.Н. Костяков включает мелиорируемые сельскохозяйственные площади, внутрихозяйственную оросительную или осушительную регулирующую сеть, постоянную проводящую сеть каналов, магистральный канал.

Применяя системный подход к изучению производства продукции на мелиорированных землях, Л.М. Рекс составляет и анализирует категориально-понятийную структуру этого процесса. Важным является его представление о мелиоративной системе как деятельностно-техно-природной системе.

Во взаимоотношении человека и природы обозначились две крайние идеологии: антропоцентризма и экологизма (экоцентризма). Сторонники антропоцентризма ставят суверенитет человеческого общества выше суверенитета природы. Природа рассматривается ими как среда, которую надо покорять, над которой надо господствовать, которую нужно изменять. Взаимоотношения человека и природы они видят как деятельность по использованию и преобразованию компонентов природы во имя человека, его потребностей и интересов. Антропоцентризм стал моральным и идеологическим основанием для прогресса, экономического роста, но слишком пренебрегал суверенными «интересами» природы.

Другой, противоположной крайностью является идеология экологизма, которая заключает в себе призыв к прекращению борьбы с природой, к остановке научно-технического прогресса, призывает человека к слиянию с природой, к растворению в ней, отказу от техногенной цивилизации, но зато экологизм ограничивает эксплуатацию природы человеком.

В действительности, и антропоцентризм и экологизм утопичны. Забота о человеке в антропоцентрическом мировоззрении иллюзорна, т.к. в конце концов, оборачивается экологическим кризисом, разрушением природных, естественных основ существования человечества. Столь же иллюзорен и экологизм, поскольку, объявляя человека частью биосферы, он, по существу, игнорирует качественные особенности развития человеческого общества, ликвидирует суверенитет человеческой личности.

Сейчас и в ближайшем будущем человечество не сможет и не захочет отказаться от благ цивилизации и резко сократить численность. Для человека характерен адаптирующий, преобразующий, подчиняющий себе природу характер связи с внешней средой. С одной стороны, это не похоже на остальных живых существ, которым преимущественно свойственен адаптивный, приспособительный характер связи с окружающей средой; с другой стороны, здесь, возможно, кроется выход из создавшейся ситуации.

Сейчас ведущие учёные полагают, что обеспечить соблюдение суверенных интересов природы и столь же суверенных интересов человеческого общества можно только на основе особого подхода к отношениям с природой, который основан на знании и учете закономерностей развития и функционирования природных систем и биосферы Земли в целом.

## 

## 3.1 Понятие природообустройства, его объект и цель

Природообустройство, во-первых, обширная и древняя деятельность человека, а во-вторых - наука, которая изучает принципы и методы этой деятельности.

Природообустройство – это особый вид деятельности, заключающийся в улучшении компонентов природы для повышения их потребительской стоимости, восстановлении нарушенных компонентов и защите их от негативных последствий природопользования.

Объектом природообустройства должна быть геосистема такого ранга, в масштабах которой непосредственно проявляются осуществляемые человеком преобразования. При этом, исходя из наличия межсистемных связей, при осуществлении преобразований необходимо отслеживать ближние и дальние последствия, т.е. оценивать влияние природообустройства на соседние геосистемы.

Целью этой деятельности является увеличение полезности геосистем. Полезность надо понимать как полную экономическую ценность объекта. Природа ещё до появления человека прекрасно знала, как развиваться и функционировать. Она сама знает, что хорошо для неё и живого, её населяющего. Но у человека запросы и интересы отличаются от чисто биологических. Ему нужен устойчивый мир, в котором достаточно пищи, ресурсов, места для размещения отходов.

Отношения человека с природой и, соответственно, науки о природе можно разделить на:

1) природоведение – познание объективных законов возникновения, развития, функционирования отдельных компонентов природы и их совокупности в виде природно-территориальных комплексов или геосистем различного ранга;

2) природопользование – вовлечение в общественное производство вещества, энергии и информации, содержащихся в компонентах природы, для удовлетворения материальных и культурных потребностей человеческого общества; получение некоторых оздоровительных, рекреационных, образовательных, эстетических, этноподдерживающих услуг; использование территорий в качестве пространственного базиса для размещения техногенных объектов;

3) природообустройство – согласование требований природопользователей и свойств природы, придание ее компонентам новых свойств, повышающих потребительскую стоимость компонентов природы, восстановление нарушенных компонентов.

Природообустройство часто предшествует природопользованию, хотя четкой границы между двумя этими видами деятельности нет. Любой вид природопользования сталкивается с необходимостью некоторого изменения свойств природных компонентов для более эффективного их использования, причем эти изменения неразрывно входят в состав технологии природопользования. Отличие природообустройства от природопользования заключается в том, что они осуществляются разными специалистами с использованием разных технологий. Использование территорий в военных целях – это одни технологии и свои специалисты, а рекультивация, очистка нарушенных, загрязненных земель – это совсем другие технологии, осуществляемые другими специалистами.

Природообустройство в значительной мере выражается в улучшении (мелиорации) земель разного назначения: сельскохозяйственных, водного и лесного фондов, населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, земель рекреационного, оздоровительного, историко-культурного, научного, оборонного назначения.

Непременной составляющей природообустройства является восстановление свойств компонентов природы или даже самих компонентов после их использования, а также ликвидация последствий техногенных аварий и катастроф: рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых, в результате строительства и т.д.; восстановление растительного покрова; восстановление (возобновление) запасов и качества подземных и поверхностных вод; очистка загрязненных территорий.

Элементом природообустройства является защита от некоторых природных стихий: наводнений, подтоплений, оползней, суховеев.

Природообустройство – дорогая и экологически опасная деятельность, поэтому она должна иметь заказчика, осуществляться на правовой основе, на условиях экспертизы и мониторинга.

Природообустройство является одним из важных элементов национальной безопасности страны.

Национальная безопасность – состояние защищенности от различных видов вреда жизни, здоровью, правам человека, интересам и ценностям общества и государства.

Национальная безопасность содержит целый ряд составных частей: экономическую (в её состав входят финансовая, природоресурсная, энергетическая), социальную (в её составе продовольственная, в сфере экологии и здравоохранения, в сфере прав человека), политическую (внутри- и внешнеполитическую, военную). Очевидно, что легче предотвращать состояние опасности, чем бороться с ним. Природообустройство ставит перед собой прямые задачи, имеющие отношение к природоресурсной, энергетической, продовольственной безопасности, безопасности в сфере прав человека, экологии и здравоохранения.

Природообустройство реализует сберегающе-созидающую составляющую отношений человека и природы. Человек накопил большой опыт в применении отдельных приемов природообустройства, в настоящее время возникла необходимость в познании общих закономерностей этой деятельности, выработке общих принципов, обеспечивающих коэволюцию, т.е. гармоничное развитие природных систем и человеческого общества.

Принцип целостности: объектом природообустройства должна быть геосистема определенного ранга имеющая естественные границы: фация, урочище, местность, ландшафт или их совокупность.

Такой подход позволяет объективно вычленять территорию, где проводится обустройство, наиболее полно учесть все связи между компонентами природы, их взаимовлияние; отследить дальние экологические последствия.

Принцип необходимого разнообразия***:*** управляющая техногенная система тогда может успешно справиться со своей функцией, когда она будет устроена также разнообразно, как и управляемая природная система.

Например, гидромелиоративная система, созданная человеком для управления водным режимом почвы, должна быть настолько разнообразна, насколько разнообразны условия формирования водного режима в разных частях конкретной геосистемы: разные типы водного питания при осушении, разная потребность в орошении.

Этот принцип обосновывает, в частности, необходимость применения комплексных мелиораций, т.е. одновременного регулирования нескольких факторов, формирующих плодородие почвы и продуктивность возделываемых растений, а также сочетания разных приемов мелиорации на разных частях переустраиваемой территории.

Принцип гармонизации круговоротов: нахождение наилучшего сочетания антропогенного и природного круговоротов веществ и энергии.

Человек, вмешиваясь в природные процессы, изменяет естественные и создает новые круговороты, что чревато неблагоприятными последствиями. В засушливых зонах природа часто выводит из геохимического круговорота токсичные вещества, соли, "захоранивает" их в глубоких пластах или в полузамкнутых геологических образованьях, человек, интенсифицируя круговорот воды орошением и дренажем, "распечатывает" эти склады, что может приводить к засолению почв, загрязнению речных вод.

Принцип адекватности воздействий: управление природными системами должно строиться на основе прямых и обратных связей.

Техногенные системы должны оборудоваться средствами получения и обработки информации о состоянии природных систем, а также блоками по выработке управляющих сигналов и их реализации, работающими в режиме реального времени.

Принцип природных аналогий***:*** применение технологий природообустройства, которые по возможности воспроизводят естественные процессы функционирования компонентов природы.

Черноземные почвы исторически сформировались при увлажнении ливневыми дождями, то и их орошение должно осуществляться дождеванием; рис же лучше выращивать на пойменных затопляемых почвах, так как это соответствует и его изначальным биологическим особенностям и почвы, на которых он растет, также сформировались при длительном затоплении водами рек или при обильных муссонных дождях; если естественный отток избыточной воды с территории обычно происходит в виде комбинации поверхностного и подземного стока, то и искусственный дренаж территории должен сочетать оба этих способа.

Принцип предсказуемости: работы по природообустройству должны опираться на достоверные, с требуемой точностью, количественные долголетние прогнозы изменения как функционирования природных систем под действием управляющих воздействий, так и на прогнозы изменения экономической и социальной обстановки на обустраиваемых территориях. Из этого принципа следует необходимость моделирования функционирования природно-техногенных комплексов природообустройства.

Принцип сбалансированности***:*** соответствие хозяйственной деятельности на обустроенной территории ресурсным и экологическим возможностям природных систем.

Например, в каждом конкретном регионе следует выращивать сельскохозяйственные культуры, наиболее соответствующие местным климатическим ресурсам, применяя соответствующие системы земледелия.

Ещё один принцип относится к природообустройству как науке – принцип интеграции знаний. Природообустройство имеет свою собственную научную базу, которая использует знания наук о природе, социально-экономических и прикладных наук, обосновывающих инженерно-технические мероприятия; вместе с тем природообустройство, синтезируя знания других наук, создает свои собственные знания.

Перечисленные принципы должны реализовываться при обосновании методов и способов природообустройства на конкретных территориях.

# 4 Основы теории систем. Геосистемный подход

Начиная разговор об объектах сложного строения и поведения, разумно поискать инструмент для познания таких объектов. Такой инструмент есть, это системный анализ в различных его интерпретациях. Это совокупность методов и средств, предназначенных прежде всего для выработки, принятия и обоснования решений при проектировании, создании и управлении различными системами. Философы отмечают, что системный анализ применяется главным образом к исследованию систем, возникших при участии человека и существующих при активном его воздействии. Системный анализ рассматривает проблему создания и управления такими системами как нечто целое; при этом необходимо определить цели, как всей системы, так и отдельных подсистем; очертить множество альтернативных путей достижения этих целей и в соответствии с некоторыми критериями выбрать наиболее эффективный. Системный анализ очень часто использует моделирование рассматриваемых систем как наиболее эффективное средство, во-первых, для изучения сложных объектов, а во-вторых, для прогнозирования поведения систем с учетом различных сценариев управления и других воздействий. Опирается системный анализ на системный подход и общую теорию систем.

Природообустройство имеет дело с разнообразными системами: природными, техническими, социально-экономическими, нормативно-правовыми и техно-природными. Важно понимать, что техно-природные системы не являются простой комбинацией природной и технической подсистем, и поэтому закономерности, действующие для них по отдельности, могут проявляться по-другому при рассмотрении природно-техногенного комплекса в целом.

Для использования системного подхода нужно определиться с понятием системы, рассмотреть свойства систем и законы системного поведения.

Существует множество определений системы. Их анализ показывает, что это совокупность частей, элементов, которые находятся в связи, взаимодействии, взаимовлиянии и образуют некую целостность, единство. За счет таких связей система приобретает свойства, которых не имеют отдельные составляющие. Можно сказать, что система – реальная или мыслимая совокупность частей, целостные свойства которой определяются взаимодействием между элементами системы.

Итак, внимание исследователя должно быть сосредоточено на элементах (частях, подсистемах) – как, например, ограждающая, регулирующая, проводящая сети осушительной системы или генетические горизонты в почве. Кроме элементов нужно рассматривать и взаимодействия между ними: например, в осушительной сети – взаимное расположение и соединение осушителей или дрен, коллекторов и каналов; в почве - потоки вещества, энергии и информации. Такой анализ позволит описать и изучить свойства и поведение системы в целом.

Теория систем и системный анализ опираются на ряд предпосылок, постулатов. Их можно сформулировать в следующем виде:

1. Всё – система***.*** Постулат гласит, что реальные и концептуальные сложные объекты можно рассматривать как состоящие из большого числа сложно и разнообразно связанных и взаимодействующих частей – другими словами, как системы. Это позволяет применять специальные научные методы для их изучения и создавать методы управления ими с помощью системного анализа.

2. Всё – часть ёще большей системы. Недостаточно изучать только внутренне строение систем, поскольку каждая система является подсистемой более крупного объекта. Внешние связи системы раскрывают её иерархическое положение, взаимодействие с другими системами. Знание внешних связей позволяет объяснять и предсказывать распространение воздействий из подсистемы в надсистему, что крайне важно при решении задач природообустройства.

3. Вселенная бесконечно систематизирована. Каждая система не только входит в состав более крупной надсистемы, но сама состоит из подсистем. Постулат указывает, что при изучении системы следует четко представлять порядок вложенности подсистем, влияющий на их функционирование.

4. Все системы бесконечно сложны. Сложность системы зависит от количества входящих в неё элементов и связей между ними. Но при анализе системы мы выделяем элементы по своему усмотрению так, чтобы можно было установить связи между ними, и их число было не слишком велико. В полной системе число связей между элементами равно числу сочетаний из N по два. Так, два элемента имеют 1 связь, три – уже 3 связи, десять – 45 связей и т.д. При составлении математической модели каждая связь – это соотношение того или иного вида (равенство, неравенство, уравнение, статистическая связь), очень часто – сложного вида и обладающее существенной нелинейностью. Понятно, что чем больше система, тем сложнее её анализировать. Поэтому при изучении систем стараются строить обобщенные модели, состоящие из возможно меньшего числа элементов, не приводящего к заметному снижению точности и прогностичности модели. В данном случае исследователь имеет дело лишь с более или менее адекватным подобием реального объекта.

Для разумного выбора рассматриваемой природной системы необходимо определить само понятие «природа». Оно имеет разные значения:

**-** бытовой: вне города – поехать на природу;

**-** переносный: сущность – природа явления;

***-*** философский, наиболее общий: все существующее во вселенной: неорганический и органический мир, включая и человека, т.е. все живое и неживое (косное);

- узкий, или специальный: совокупность естественных факторов и условий существования человеческого общества. Сам человек при этом не включается в природу.

Понятие «окружающая среда» несколько шире, поскольку включает ещё и «вторую природу» - технические системы, встроенные в природу. Для изучения природно-техногенных комплексов полезно понимать этот термин в узком, специальном смысле:

Природа – совокупность естественных факторов и условий существования человеческого общества.

Фактор – материально-энергетическая составляющая процесса, условие - обстоятельство, при котором развивается процесс.

Компоненты природы: массы вод во всех состояниях, воздух, массы твердой земной коры, почва, биота.

Почва, хоть и включает в себя воду, воздух, твердые частицы, а также населяющие её микроорганизмы, все-таки выделена отдельным компонентом, поскольку это важное природное тело, а расщепление на составные части разрушает почву как систему.

Одна из фундаментальных проблем природообустройства, как и природопользования – встраивание деятельности человека в единое природное тело. Сразу возникает вопрос: а как же выделить это природное тело? Гидрологи делят поверхность суши на речные бассейны; геологи – на платформы, горные страны, синклинали, антиклинали; гидрогеологи – на бассейны подземных вод; почвоведы – на почвенные зоны, страны, области и т.д.; геоботаники – на биоценозы. Примеров членения территории или ее районирования можно привести много. Всех их отличает субъективность, так как при этом учитываются не все связи между компонентами природы, хотя для решения частных задач такое районирование полезно.

Наиболее объективно эта проблема может быть разрешена средствами географических наук, которые, в отличие от других, изучают природу в целом, а не отдельные ее составляющие (почвоведение, геология, гидрология, климатология и др.).

Географам удалось в последние десятилетия построить довольно стройную теорию членения Земли на генетически однородные объекты разной крупности. С этой целью они ввели понятие геосистемы - пространственно-временного комплекса всех компонентов природы, взаимообусловленных в своем размещении и развивающихся как единое целое.

С этих позиций планета Земля представляется как глобальная геосистема (эпигеосфера), т.е. природный комплекс, возникающий в слое взаимодействия и взаимопроникновения литосферы, гидросферы и атмосферы и сформировавшийся под воздействием солнечной энергии и органической жизни. Обычно в географическую оболочку включают 10 – 12-ти километровую толщу атмосферы, всю гидросферу и 4-5-ти километровый слой литосферы. В местах благоприятных сочетаний указанных компонентов в нее входит и очень специфическое природное тело – почва, как продукт эволюции наружных слоев литосферы под действием живых и мертвых организмов. Суша глобальной геосистемы Земля состоит из ландшафтных зон, те, в свою очередь, из ландшафтных стран, далее следуют ландшафтные области, провинции, округа и собственно ландшафты, которые делятся на местности, те – на урочища и далее на фации. От иерархического уровня геосистемы зависит её внутренняя неоднородность, разнообразие, устойчивость, изменчивость. Наиболее изменчивыми являются наименьшие геосистемы – фации.

Теория систем позволяет отыскать ряд свойств, характерных для всех сложных объектов, которые функционируют как единое целое благодаря взаимодействию составных частей. Часть этих свойств присуща всем системам, часть – только динамическим, в которых роль связей играют потоки вещества, энергии и информации. Геосистемы являются динамическими системами, т.е. частным случаем систем вообще, поэтому их свойства можно разделить на три группы: присущие им как системам вообще, как динамическим системам и своеобразные свойства, которые есть только у земных природных систем.

Целостность (эмерджентность) – это способность систем проявлять полностью свои свойства только при взаимодействии элементов, важнейшее свойство, наличие которого, согласно определению, позволяет отнести объект к системам. Оно означает, что систему невозможно познать, изучая лишь составные части и не учитывая взаимодействия между ними. Распространяя свойство целостности на геосистемы, отметим, что их нужно рассматривать как совокупности взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов: компонентов природы или подсистем более низкого ранга. Так, невозможно достоверно судить о процессах в почве, не учитывая особенностей функционирования ландшафта в целом. С другой стороны, относительно замкнутые круговороты веществ на уровне ландшафта невозможно изучать, не имея информации о региональных и глобальных процессах.

Сложность. Свойство характеризуется числом элементов или возможных состояний системы. Важно понимать, что в соответствии с принципом «Вселенная бесконечно систематизирована» можно представлять систему состоящей из элементов различных уровней существования материи, вплоть до атомного, элементарного и даже кваркового. В таком случае во всех природных системах число элементов очень велико. Но важно помнить, что при изучении, например, геосистем нужно оставаться на уровне рассмотрения процессов, значимых для ландшафта, местности, урочища, фации, для чего рассматривать уже укрупненные элементы – природные тела. При моделировании стараются рассматривать по возможности меньшее число элементов. Наиболее рациональный путь упрощения модели – выделение и описание взаимодействия между подсистемами, включающими в себя множество элементов. Важная для природообустройства система «почва – вода – атмосфера - растение» состоит из четырех подсистем, каждую из которых можно описывать более или менее сложной моделью в зависимости от поставленных задач.

Разнообразие. Система жизнеспособна только тогда, когда состоит из разнообразных элементов и связей. Минимальное количество разных элементов – два (плюс и минус, северный и южный магнитные полюса, мужской и женский пол). В геосистемах свойство выражается в изменчивости и неоднородности свойств компонентов природы в пространстве и может быть детерминированным и стохастическим, т.е. когда какое-то свойство (плотность, пористость, коэффициент теплопроводности и т.п.) меняется из точки в точку, не подчиняясь какой-либо функциональной закономерности. Внутренняя неоднородность и изменчивость повышают устойчивость геосистемы.

Структурность характеризует организацию системы. Степень развития структуры системы является отражением её сложности и разнообразия элементов, а также видов связей элементов между собой. В геосистемах выражается в виде пространственно-временной упорядоченности (организованности), определенным расположением ее частей и характером их соединения; различают вертикальную, или ярусную структуру, указывающую на взаиморасположение компонентов, и горизонтальную, или латеральную структуру, раскрывающую порядок расположения геосистем низшего ранга, поэтому нужно рассматривать как вертикальные или межкомпонентные связи, так и горизонтальные, или межсистемные связи.

Система без выраженной структуры неустойчива и подвержена случайным воздействиям, которые её «расшатывают». Так ведёт себя песчаная дюна, перемещаемая ветром.

Система со сложной жесткой структурой устойчива, но не способна развиваться и усложняться. Оросительная система, состоящая из насосной станции, трубопроводов, дождевальной техники, выдерживает нормальные эксплуатационные нагрузки, но самовосстанавливаться она не может, и уж тем более не может самопроизвольно, за счет внутренних факторов превратиться во что-то более совершенное.

Системы со средне выраженной структурой занимают промежуточное положение; они обладают достаточной устойчивостью, но способны в некоторых пределах изменяться, а иногда и перестраиваться в другие системы со своей устойчивостью. Так, пожарище со временем превращается в луг, а он сменяется лесом. Создание ПТК разрушает ранее существовавшие природные структуры и вносит новые структуры в геосистемы, что делает их более «жесткими» и может снизить их способность к развитию и адаптации. Если же природные структуры разрушаются или упрощаются человеком (монокультура взамен лугового разнотравья, планировка поверхности и ликвидация микрорельефа), то системы становятся менее устойчивыми из-за меньшего разнообразия.

Четыре отмеченных свойства характерны для всех систем, от природных до политических. На этих свойствах основаны принципы целостности и необходимого разнообразия, которые позволяют создавать оптимальные техногенные подсистемы природообустройства с учетом наиболее общих закономерностей теории систем.

В природных системах связи имеют характер потоков вещества, энергии и информации. Это означает, что один элемент системы, например биота, влияет на другой (почву, гидросферу и пр.) не с помощью рычага или шестерёнки, а с помощью движущихся в пространстве и времени веществ, энергии, а часто и информации (изменение излучения Солнца передает живым организмам информацию о природных циклических изменениях). Все такие системы называют динамическими. Перечислим ряд их характерных свойств.

Функционирование. Внутри динамических систем идут интегральные, взаимосвязанные и взаимовлияющие непрерывные процессы обмена вещества, энергии и информации и их преобразование, которые совершенно условно, для нужд частных наук о природе подразделяются человеком на отдельные составляющие: физические, химические, биологические и т.д. В последнее время наметилась тенденция совместного рассмотрения некоторых процессов: геохимических, гидрофизических, биохимических и других. Природообустройство ставит перед собой задачу управления потоками вещества и энергии в природе и гармонизации круговоротов, т.е. нахождения такого оптимального уровня воздействия, который не приводит к неблагоприятным изменениям в управляемой системе. Единство, интегральность природных процессов представляет сложность для их моделирования. Например, при описании передвижения влаги в почве нужно учитывать, что этот процесс происходит не только под действием градиента напора, но и под действием поля температур, поля концентраций солей, электромагнитного поля, на состоянии которых отражается и само движение воды.

Открытость. Фундаментальная особенность динамических систем – постоянный обмен веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Геосистемы обмениваются энергией, веществом и информацией с другими геосистемами, при этом поток энергии пронизывает все элементы, без этого невозможно существование геосистемы. Чем более высокоорганизованна система, тем строже она регулирует обмен веществом и энергией с окружающей средой. Нельзя понимать открытость как абсолютную, она не может быть полной, необходима некоторая изоляция. Возможность существования динамической системы объясняется некоторым преобладанием мощности внутренних связей над внешними, иначе система «размазывается» и перемешивается с окружающей её средой.

Устойчивость – способность восстанавливать или сохранять структуру и другие свойства при резком изменении внешних воздействий. Устойчивость возможна как раз в силу некоторой изолированности от окружающей среды, неполной открытости системы. Устойчивость геосистем и компонентов природы растет с увеличением их внутренней неоднородности и разнообразия. Например, развитая почва, будучи высокоорганизованной системой, способна поддерживать постоянный газовый состав воздуха в порах. Природную устойчивость геосистем следует отличать от устойчивости техно-природных систем, которая заключается в способности выполнять заданные социально-экономические функции.

Динамичность – способность обратимо изменяться под действием периодически меняющихся внешних факторов без перестройки структуры или с незначительной перестройкой; геосистеме это обеспечивает её гибкость, «живучесть». Проявляется она при суточных, сезонных, годовых и многолетних циклах изменения солнечной радиации, свойств воздушных масс в виде способности к самоподдержанию при периодически меняющихся внешних воздействиях. Можно сказать, что совершенным техническим системам тоже присуща динамичность как способность противостоять периодическим воздействиям без разрушения, например способность бетона облицовки канала выдерживать неоднократное замораживание и оттаивание, «самозалечивающиеся» конструкции тела грунтовой плотины также обладают своего рода динамичностью.

Способность развиваться. Геосистемы эволюционно изменяются, т.е. происходит направленное необратимое изменение, приводящее к коренной перестройке структуры, т.е. к появлению новых геосистем; скорость изменения зависит от ранга геосистемы: быстрей изменяются фации, затем – урочища, местности, время изменения ландшафтов и их групп измеряется геологическими масштабами. Эволюционные изменения можно, в лучшем случае, замедлить; приостановить или повернуть вспять невозможно без серьёзного нарушения устойчивости геосистемы. Это свойство нужно для адаптации системы к окружающей среде, оптимизации внутренних и внешних связей.

Продуцирование биомассы – важнейшее свойство геосистем, заключающееся в синтезе органического вещества первичными продуцентами, важнейшие из которых на суше - зеленые растения, которые при использовании солнечной энергии извлекают двуокись углерода из атмосферы, а из почвы с водными растворами - зольные элементы и азот. Человек при изменении геосистем часто старается использовать это свойство в своих целях.

Способность почвообразования– отличительное свойство земных ландшафтов, заключающееся в образовании почвы, которая, являясь продуктом функционирования, стала и важным компонентом природы.

Почва - особое природное тело, которое образуется в результате взаимодействия живых организмов и их остатков с наружными слоями литосферы, предварительно подвергшимися измельчению под действием воды, солнца, ветра (В.В. Докучаев).

Почвы обладают неоценимым свойством – плодородием, т.е. способностью удовлетворять потребности сельскохозяйственных растений в факторах и условиях их роста и развития.

Нелинейность природных процессов***.*** Трансформация энергии и вещества и обмен ими идут с переменной, часто замедляющейся, скоростью: уменьшается скорость впитывания воды в почву, замедляется остывание почвы при похолодании, затухает скорость понижения уровня грунтовых вод при дренировании. Природные процессы могут быть периодичными и даже менять свое направление. Это свойство повышает устойчивость геосистемы, тогда она не идет «враскачку». Подчеркнем, что нелинейные процессы сложнее изучать и моделировать.

## Устойчивость геосистем. Часто изменение природных систем в первую очередь отражается на их устойчивости.

Критерии природной устойчивости геосистем: высокая организованность, интенсивное функционирование и сбалансированность функций геосистем, включая биологическую продуктивность и возобновляемость растительного покрова. Эти качества определяются оптимальным соотношением тепла и влаги, а находят свое выражение в степени развитости почвенного покрова, и, в конечном итоге, в плодородии почв.

Устойчивость геосистем зависит от внутренней неоднородности компонентов, так разнообразный состав луговых трав делает луг более устойчивым при разных погодных условиях, чем искусственный сенокос с меньшим видовым разнообразием. Выраженный микрорельеф и вариация водно-физических свойств почв также повышает устойчивость и почвенного и растительного покровов: в сухие периоды года продуцирование биомассы лучше в понижениях, а во влажные периоды лучшие условия создаются на микроповышениях.

Устойчивость геосистемы растет с повышением ее ранга. В этом смысле наименее устойчивой является фация – наименьшая геосистема, характеризуемая однородными условиями местоположения и местообитания и одним биоценозом. Фации сильней всего откликаются как на изменение внешних природных условий, так и на деятельность человека. Они наиболее радикально изменяются при природопользовании. Более крупные геосистемы в меньшей степени подвержены изменениям.

Свойства систем – это своего рода фундаментальные признаки, черты, особенности этих объектов. Теперь речь пойдёт о закономерностях их организации, функционирования и развития. Вообще говоря, закон – внутренняя существенная и устойчивая связь явлений. Теория систем – наука развивающаяся, поэтому не все её достижения сложены в стройное учение. К основным законам существования природных систем можно отнести следующие:

Принцип Ле-Шателье – Брауна. Устойчивая система под внешним воздействием стремится измениться так, чтобы снизить влияние этого воздействия. Принципом объясняется устойчивость природных систем. Устойчивость природных систем отличается от устойчивости природно-техногенных комплексов, которые не могут существовать без поддержки человека, и выполнение данного принципа в техно-природных системах затруднительно.

Закон сохранения массы. Сумма массы вещества системы и массы, полученной или отданной той же системой, постоянна.

Закон сохранения энергии. Энергия не создаётся и не исчезает, а лишь переходит из одной формы в другую. Эти основные законы природы означают, что ни одно преимущество или ресурс, полученные человеком, не берутся из ниоткуда. Мы, так или иначе, отбираем это у природы.

Закон оптимальности. Система наиболее эффективно функционирует в оптимальных пространственно-временных пределах. У природных систем обычно имеются достаточно явные пространственные границы и характерные сроки существования. У природно-техногенного комплекса в соответствии с этим законом тоже должны быть оптимальные пространственно-временные пределы.

Например, обосновывая земледелие в конкретном регионе, нужно думать ещё и о размерах полей с точки зрения эффективности и экологической безопасности, а также о времени жизни проекта. Обосновывая проект водохранилищного гидроузла, нужно решать, на какой срок он возводится и возможно ли будет завершить проект и восстановить естественные условия.

Закон максимизации энергии и информации. В своём развитии живая система стремится максимально использовать доступные потоки энергии и информации. Изменяя природные системы, человек фактически перенаправляет потоки энергии, вещества и информации или отбирает их у природы, т.е. препятствует естественному развитию систем. Закон указывает, что любое воздействие с точки зрения природы оказывается заметным, так как препятствует максимизации энергии и информации. В своей деятельности специалист должен минимально изменять природные процессы, опираясь на принципы гармонизации круговоротов, природных аналогий, адекватности воздействий.

Геосистемный подход к природообустройству наиболее полный из ныне существующих. При природообустройстве очень важно четко обозначить объект этой деятельности. Это имеет не только методологическое, но и большое практическое значение. Воздействие на отдельные компоненты природы – это, в сущности, абстракция, ибо эти компоненты не автономны. Это только кажется плохому специалисту, что он решил лишь что-то поменять, оставив все остальное неизменным. Например, построив плотину на реке, чтобы сделать ее судоходной, он не только изменил уровень воды на отдельном участке реки, но и повлиял на прилегающие земли, подтопив их, на температурный режим воды в реке и т.д.

Геосистемный подход по сравнению с экосистемным отличается большей полнотой, т.к. рассматривает систему, в которой есть связи каждого компонента со всеми остальными. При экосистемном подходе детально изучаются взаимосвязи живого и неживого, но выпадают из рассмотрения связи между косными компонентами природы. Экосистема – единство отдельного организма или популяции (сообщества организмов) и среды обитания. Экосистемы могут быть совершенно разных размеров, начиная от стакана воды с поселившимися в нем микробами, до лесного массива громадной площади.

При природообустройстве, равно как и при природопользовании, надо рассматривать целостные геосистемы. Конечно, в каждом конкретном случае можно выделить главный объект природообустройства – определенный компонент геосистемы, не забывая, что он тесно связан с другими. Например, при мелиорации сельскохозяйственных земель главным объектом деятельности является почва, как среда и средство для жизни растений. В других случаях это могут быть поверхностные или подземные воды, грунты, как основания для сооружений.

В последнее время экономисты предложили довольно полную, всестороннюю оценку ландшафтов или отдельных природных объектов, например болота, луга, леса, водоема и т.д.

Общую экономическую ценность (стоимость)Эц они предлагают считать состоящей из стоимости использования *Си* и стоимости неиспользования *Сни*, отражающей социальную значимость природы для общества:

*Эц = Си + Сни*

В свою очередь стоимость использования подразделяют на прямую стоимость *Пс* (извлекаемую и неизвлекаемую), косвенную стоимость использования *Кс* и стоимость отложенной альтернативы *Са*:

*Си = Пс + Кс + Са*

Стоимость неиспользования, т.е. сохранения природного объекта для природы и человека *Сни* складывают из стоимости его существования и наследования будущими поколениями (непотребительной стоимости) *Сс*, стоимости выполняемых им экологических функций *Сэф*, информационной стоимости *Син*:

*Сни = Сс + Сэ + Син*

Например, общая экономическая стоимость болота состоит из

- прямой стоимости его использования человеком: извлекаемой без осушения (добыча мха, клюквы), после осушения (добыча торфа, выращивание сельскохозяйственных культур); неизвлекаемой (охота, отдых, образование);

- косвенной стоимости использования (изучение флоры и фауны, миграции птиц и т.п., в связи с этим, защита флоры и фауны);

- стоимости отложенной альтернативы (сохранение торфа для будущего использования по мере развития новых технологий в химической, медицинской промышленности);

- стоимости существования и наследования (затраты на сохранение болота для будущих поколений при осушении прилегающих земель, при дорожном строительстве, борьба с пожарами);

- стоимости экологических функций (значимость болота для регулирования стока рек, как биогеохимического барьера на пути миграции загрязняющих веществ);

- информационной стоимости (возможность познания геологической истории местности, использование генофонда проживающих организмов для селекционной работы).

Такая оценка изменяет отношение человека к природным объектам как к бесплатным, даровым источникам ресурсов и услуг. Она позволяет оценить их значимость как уникальных объектов, осознанно подходить к их использованию и изменению в процессе природообустройства, показывает взаимозависимость частных ценностей. Повышая одну из ценностей, полезностей, можно уменьшить другую, что в сумме, возможно, приведет к отрицательному эффекту.

Важно также, какой ценой оплачен рост одной из полезностей, в частности, каким объемом материальных или энергетических ресурсов, извлекаемых, в том числе и из других ландшафтов. Яркий пример – бурная дискуссия о межбассейновых перебросках речного стока. По видимому, общество приняло бы идею перебросок, если бы изначально была бы доказана "межландшафтная" полезность перераспределения водных ресурсов.

Таким образом, совокупность мероприятий по окультуриванию ландшафтов должна основываться на оптимизации не частных полезностей, что обычно и делается, а на доказательстве повышения общей полезности с учетом межландшафтных связей.

# 

# 5 Свойства компонентов природы

Компоненты природы имеют разнообразные свойства, которыми занимаются частные науки, такие, как почвоведение, геохимия, геология и гидрогеология, гидравлика, гидрология, метеорология и климатология. Каждая из этих наук разрабатывает собственные методы познания свойств компонентов природы, но результаты этого познания имеют нечто схожее. На уровне системного анализа полезно рассмотреть обобщенные свойства в таких категориях, как проводимость, барьерность и емкость компонентов природы. Это помогает исследователю рассматривать природные и техно-природные процессы не «изнутри» отдельной науки, а с использованием геосистемного подхода, рассматривая функционирование геосистем и ПТК с междисциплинарных позиций как единый многогранный процесс передвижения, накопления, превращения вещества, энергии и информации. Кроме того, такой путь упрощает формализацию научного знания о свойствах компонентов природы и способствует широкому развитию методов моделирования процессов в геосистемах и ПТК.

Проводимость – способность природного тела пропускать сквозь себя потоки вещества и энергии. Потоки можно разделить на вещественные и энергетические, при этом вещественные делятся на виды по состоянию движущегося вещества. Проводимость зависит от свойств самого природного тела, свойств потока вещества или энергии и от действующих сил, вызывающих этот поток.

В общем виде поток вещества или энергии можно записать в виде:



 – масса вещества или количество энергии, проходящие через поперечное сечение природного тела *F* за единицу времени, при этом средняя по площади (виртуальная) скорость равна .

Нужно различать истинную и виртуальную скорости потока. Например, при движении воды в пористом пространстве вода течет не через все поперечное сечение природного тела, а только через пустоты – поры, заполненные влагой, т.е.



В этом выражении *ω* - объемная влажность, т.е. отношение объема влаги к объему пористого тела,  - действительная (истинная) скорость движения воды в порах, занятых водой.

Можно записать закон движения потока (переноса энергии) – т.е. математическую связь определяющей скорости миграции растворенных веществ или передачи энергии, действующих силы и свойств самого тела:



*k* – характеристика проводимости, т.е. поток при единичном градиенте действующей силы через единицу площади природного тела, зависит от свойств природного тела и свойств вещества, образующего поток;

 - градиент потенциала действующей силы;

*n* – показатель степени, характеризующий зависимость скорости потока от градиента действующей силы, он зависит от абсолютного значения *Р*, свойств среды и характеристик движения вещества (переноса энергии); минус в выражении показывает, что поток направлен в сторону падения потенциала действующей силы.

Водные потоки – наиболее часто встречающиеся в природе. Вода движется в руслах (реках и каналах), трубах, пористом пространстве (почве, грунтах, трещиноватой скале). При движении воды в руслах и трубах говорят о пропускной способности последних, чем характеризуют их проводимость с помощью коэффициента Шези. При движении воды в почве и грунтах проводимость характеризуется величиной коэффициента влагопроводности, который обращается в коэффициент фильтрации при полном насыщении пористой среды. Все они зависят как от свойств жидкости и характера её движения, так и от свойств природного тела. Проводимость почвы зависит и от состава жидкости; так, смесь воды с нефтепродуктом движется в почве по-другому, не как вода, коэффициент фильтрации зависит как от проницаемости пористой среды, так и от вязкости и плотности жидкости. Очевидно, что при описании движения нефтепродуктов в той же пористой среде он примет иное значение.

В гидрогеологии при изучении движения подземных вод вводят величину *kфT* – проводимость пласта. Здесь появляется мощность пласта *T*, т.к. она влияет на величину потока воды через данное природное тело.

В природе вода часто содержит различные растворенные вещества (соли, биогены, загрязнители), поэтому водные потоки участвуют в их переносе. К экзотичному потоку вещества в жидком состоянии относится лавовый поток.

В качестве примеров потоков вещества в газообразном состоянии можно привести движение почвенного воздуха, ветер. Потоки вещества в твердом состоянии: уплотнение и разуплотнение почвы, оползень. При расчете таких потоков иногда не действует общий закон движения, приведенный выше.

Смешанные потоки вещества возникают при транспорте наносов, суффозии, движении селя (происходит совместное передвижение воды и твердого вещества), переносе пыли ветром (совместное движение газа и твердого вещества), аэрации потока на водосбросных сооружениях и т.п. (совместное передвижение газа и жидкости).

Следовательно вещество и энергия в природе передвигаются не только из-за наличия действующих сил, но и за счет такой способности природных тел, как проводимость. Можно сказать, что проводимость – одна из причин того, что вещество и энергия стремятся равномерно распределиться в пространстве, выровнять концентрации веществ и количество тепла в пространстве, увеличить степень неупорядоченности системы, её энтропию.

## Барьерные свойства компонентов природы. Наряду с «размазыванием» идут и процессы концентрации веществ, исключения их из круговорота, сосредоточения в некоторых областях. В качестве примера можно привести месторождения различных полезных ископаемых – от известняка до металлических руд. Значит, наряду с проводимостью природные тела обладают свойствами задерживать некоторые вещества, что можно назвать барьерностью. В самом общем смысле барьер можно понимать как локальное нарушение проводимости, что приводит к ускорению или замедлению потоков веществ и круговоротов в целом.

Можно делить барьеры на природные и техногенные (созданные человеком); каждый из них, в свою очередь, делится на следующие виды:

1) механические – когда природное тело работает как фильтр;

2) физические – испарительный, гидрофизический;

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

4) химические – 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 эти процессы очень часто происходят одновременно в одном барьере, 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.

В этих барьерах резко изменяются условия миграции веществ, что часто приводит к накоплению химических элементов. Важнейшими из них являются растительный покров, почва, толщи водоненасыщенных горных пород, в основном мелкоземов, и застойные скопления подземных вод.

Естественный или искусственно созданный растительный покров работает, прежде всего, за счет перехвата воздушных потоков, содержащих пыль, аэрозоли, капельножидкие вещества. Токсичные вещества не только накапливаются на листовых пластинах, но и проникают в устьица, аккумулируясь в тканях листьев; к тому же растения как биогеохимический барьер утилизируют ряд веществ в процессе метаболизма (обмена веществ); например, хорошо развитый и интенсивно продуцирующий биомассу травянистый покров ежегодно потребляет азота 300 – 500 кг/га, фосфора (в форме P2O5) 60 – 120, калия (в форме K2O) 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, в том числе присутствует широкая гамма микроорганизмов. Почвоведы, называя одним из основных свойств, отличающих почву от инертной горной породы, поглотительную способность, умеют количественно оценивать емкость поглощения.

Почва способна задерживать или поглощать газы, растворенные вещества, минеральные или органические частицы и суспензии. Во многом поглотительная способность связана с высокодисперсной, главным образом, коллоидной частью почвы, имеющей большую удельную поверхность, т.е. суммарную поверхность всех частиц, составляющих единицу массы почвы.

Различают несколько видов поглотительной способности: механическую, физическую, физико-химическую, химическую и биологическую.

Поглотительную способность почвы несложно регулировать доступными агротехническими и мелиоративными приемами:

а) внесением в почву органических удобрений для повышения количества гумуса - особого вещества, состоящего из органических остатков разной степени разложения и модификации; изменением химических свойств: уменьшением кислотности или щелочности; уменьшением степени засоления; регулированием количества влаги в почве (орошение или осушение);

б) в настоящее время довольно широко применяются специальные сорбенты естественного или искусственного происхождения, вносимые в почву для очистки ее от тяжелых металлов, радионуклидов;

в) эффективным является обогащение микрофлоры почвы специальными бактериями, способными разлагать нефтепродукты и другие вредные вещества.

Барьерными свойствами обладает толща водоенасыщенных горных пород, в основном мелкоземов, и области застойного скопления подземных вод.

В соответствии с принципом природных аналогий необходимо использовать совместно несколько барьеров, что находит реализацию в способах очистки загрязненных земель, когда применяются биологический барьер растительного покрова, сорбционный барьер подстилающих грунтов, искусственно усиливается сорбционный барьер почвы, создается гидрофизический барьер на пути движущейся области загрязнения.

Борьба с загрязнением земель, по сути, заключается в управлении барьерами, создании одних и разрушении других барьеров.

Природным процессам свойственна изменчивость во времени. Динамика определяется действующими силами, проводимостью природных тел, а кроме того – способностью вмещать в себя вещество и энергию. Вмещающая способность природных тел не всегда сводится к исчислению геометрических объемов, свободных для вмещения. В природных телах существует равновесное насыщение, когда количество вмещаемого вещества (энергии) является результатом действия суммы удерживающих и вытесняющих сил. В качестве примера можно назвать запас влаги в капиллярной кайме, который определяется балансом между капиллярно-каркасным потенциалом и гравитационным потенциалом.

Можно сказать, что емкость это способность природного тела вмещать и удерживать определенное количество вещества и энергии при равновесии всех действующих сил. Так, почву можно характеризовать коэффициентом влагоемкости, который показывает, как меняется влажность, содержание влаги в единице объема почвы, в зависимости от полного напора.

Емкостные свойства изменчивы и зависят от состава свойств природного тела. Возможность управления емкостными свойствами можно проиллюстрировать на примере теплоемкости почвы. Теплоемкость единицы объема почвы как системы, состоящей из твердых частиц, воздуха и воды запишем в следующем виде:



, а теплоемкости отдельных составляющих - твердой фазы, воздуха и воды соответственно равны

 Дж/см3 К,  Дж/см3 К,  Дж/см3 К.

Меняя соотношение влаги и воздуха в почве увлажнением или дренированием, можно многократно менять её теплоемкость за счет резко различных удельных теплоемкостей воды и воздуха.

В гидрогеологии при рассмотрении неустановившегося движения грунтовых вод используются емкостные показатели – коэффициент водоотдачи *δ,* которыйпри опускании уровня грунтовых водхарактеризуется отношением объема вытекшей воды к объему осушенного грунта и недостаток водонасыщения при подъеме УГВ. Емкостные свойства определяют инертность потоков. Мерой инертности потока грунтовых вод является коэффициент уровнепроводности *a* и характерное время стабилизации *τ,* в течение которого на расстоянии *L* от границы потока происходит примерно 90% возможного изменения уровня, вызванного изменением напора на указанной границе.

, 

При стабильных внешних воздействиях, местном климате и базисе эрозии, наступает стабильное засоление. Это дает основания говорить о галогеохимической емкости почв, которая характеризуется стабилизировавшимися среднемноголетними запасами солей. Они подвержены годовым изменениям, зависят от влагоемкости и емкости поглощения почв. Учет галоемкости почв позволяет более адекватно описывать многолетние процессы засоления и рассоления почв. Мелиорация засоленных почв по существу сводится к управлению галоемкостью почв.

# 

# 6 Природно-техногенные комплексы

Природно-техногенный комплекс (ПТК) – это система, комплекс, состоящий из двух основных частей, природной и техногенной. Слово техногенный буквально означает созданный с помощью техники, человеком. Это слово применяют, в основном, к различным сооружениям и мероприятиям. Назначение техногенной подсистемы – управление природной составляющей.

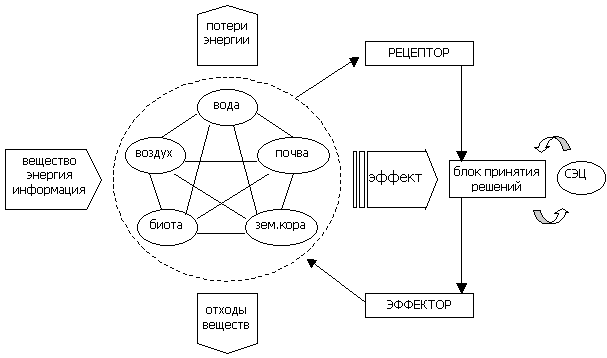


Рисунок 1 - Схема природно-техногенного комплекса природообустройства.

Для организации управления необходим ряд элементов.

Рецептор – это часть системы, которая воспринимает информацию об управляемом объекте (влажность почвы, температура воздуха).

Эффектор – та часть, с помощью которой оказывается воздействие на управляемый параметр.

Блок принятия решений, соотнося поступающую от рецептора информацию с необходимым результатом, вырабатывает решения, позволяющие оптимальным способом достичь социально-экономическую цель (СЭЦ). Блок принятия решений управляется лицом, принимающим решения. На современном этапе принятие решений поддерживается использованием экспертных систем, баз данных и геоинформационных систем, систем мониторинга, дистанционного зондирования, которые позволяют реализовать принципы адекватности воздействий и предсказуемости.

Природно-техногенный комплекс природообустройства – изменённая геосистема, включающая в себя помимо природной составляющей техногенный блок, управляющий составом и свойствами компонентов природы и природными процессами для достижения заданной социально-экономической цели.

У этого термина есть синонимы. Подобные объекты еще называют геотехническими системами и техно-природными системами. Нельзя путать природно-техногенный комплекс с природно-территориальным комплексом, который по смыслу близок геосистеме ранга ландшафта, а также с производственно-территориальным комплексом, т.е. группой предприятий и учреждений, выполняющих определенную экономическую функцию и связанных производственными циклами и потоками, совместным использованием территории, природных и трудовых ресурсов и производственной инфраструктуры.

## 

## 6.1 Классификация изменённых геосистем

Все ПТК по смыслу термина являются изменёнными геосистемами, но не все изменённые геосистемы есть техно-природные системы.

Геосистемы могут существовать в состоянии природного равновесия, могут быть обратимо выведенными из состояния природного равновесия и необратимо выведенными из состояния природного равновесия. Причины изменений геосистем могут быть как природными, так и антропогенными, которые следует делить на преднамеренные и непреднамеренные.

Для целей природообустройства важна оценка объекта деятельности по степени изменения. Из неё следуют желательные и необходимые мероприятия по улучшению, восстановлению, защите компонентов природы. Степень изменения геосистемы выражается количественными и качественными характеристиками. Количественные изменения, накапливаясь, могут приводить к качественным. В настоящее время по степени изменения ландшафтов принято подразделять их на виды:

- условно неизмененные, которые не подверглись непосредственному хозяйственному использованию и воздействию, в них можно обнаружить лишь слабые следы косвенного воздействия, например, осаждение техногенных выбросов из атмосферы в нетронутой тайге, в высокогорьях, в Арктике, Антарктике;

- слабоизмененные, подвергающиеся преимущественно экстенсивному хозяйственному воздействию, которое частично затронуло отдельные вторичные компоненты ландшафта, но основные природные связи не нарушены и изменения носят обратимый характер; это тундровые, таежные, пустынные, экваториальные ландшафты;

- среднеизмененные ландшафты, в которых необратимая трансформация затронула некоторые компоненты, особенно растительный и почвенный покров, это - сводка леса, широкомасштабная распашка, в результате которых изменяется структура водного и частично теплового баланса;

- сильно измененные (нарушенные) ландшафты, которые подверглись интенсивному воздействию, затронувшему почти все компоненты, что привело к существенному нарушению структуры, часто необратимому и неблагоприятному с точки зрения интересов общества; это главным образом южно-таежные, лесостепные, степные, сухостепные ландшафты, в которых наблюдается обезлесивание, эрозия, засоление, подтопление, загрязнение атмосферы, вод и почв; широкомасштабная мелиорация также сильно изменяет ландшафты, другое дело, в какую сторону происходят эти изменения, они могут быть позитивными как для природной системы, так и для человека.

Как бы ни были глубоко изменены геосистемы, человек не в состоянии отменить объективные законы функционирования и развития геосистем, снивелировать качественные различия между ландшафтами тайги и степи, степи и пустыни. Надо иметь в виду, что новые элементы, внедряемые человеком в ландшафт не вытекают из структуры ландшафта, не обусловлены им и поэтому оказываются чужеродными элементами, не свойственными конкретному ландшафту, поэтому ландшафт стремится отторгнуть их или модифицировать. В связи с этим, антропогенные элементы, внедряемые в ландшафт, являются неустойчивыми, не способными самостоятельно существовать без постоянной поддержки человека.

Так, культурные растения, если за ними не ухаживать, не возобновлять, будут вытеснены дикими, пашня – зарастет, каналы в земляном русле или заплывут, или будут меандрировать, как реки, здания – разрушатся. Понятно, что устойчивость ПТК отличается от устойчивости геосистем.

Устойчивость ПТК – его способность выполнять заданные социально-экономические функции.

Иными словами, если устойчивость геосистемы проявляется в способности противостоять воздействию и «переваривать» чужеродные элементы, то устойчивость ПТК проявляется в способности не выходить из штатных режимов и не разрушаться под этим прессом.

Следствием этого, во-первых, является необходимость постоянной затраты человеком труда и ресурсов на поддержание таких элементов, необходимость ухода, ремонта, а во-вторых, для повышения устойчивости внедряемых элементов человек должен максимально уменьшать их чужеродность для ландшафта – в соответствии с принципом природных аналогий.

Всякая геосистема приспособлена к определенным условиям, в пределах которых она устойчива и нормально функционирует даже при возмущениях внешних природных факторов. Техногенные возмущения часто превосходят природные, они более разнообразны, некоторые вообще отсутствуют в природе, например загрязнение искусственными веществами. В соответствии с принципом сбалансированности все это вызывает необходимость специальных исследований реагирования геосистемы на конкретные воздействия, которые должны быть положены в основу проектов по природопользованию и природообустройству. Отметим здесь важность долговременных количественных прогнозов поведения геосистем при разных вариантах техногенных воздействий.

# 

# 7 Создание и функционирование ПТК природообустройства

При природообустройстве возникает необходимость в течение сравнительно продолжительного времени и на большой территории оказывать управляющие и изменяющие воздействия на компоненты природы для увеличения их полезности, восстановления, очистки, защиты. Это приводит к необходимости создания специальных ПТК природообустройства. Выделим следующие виды.

1 Инженерная мелиоративная система (ИМС) – постоянно или длительное время действующий комплекс сооружений и мероприятий для создания оптимального мелиоративного режима на землях различного назначения. К ним относятся оросительные и осушительные системы на землях сельскохозяйственного назначения, специальные дренажные системы на городских землях и землях транспорта, а также землях обороны и других. Мелиоративный режим – совокупность требований к управляемым факторам почвообразования, роста растений и воздействия на окружающую среду, которые должны обеспечивать система мелиоративных мероприятий для достижения поставленной цели.

2Инженерно-экологическая система (ИЭС) – постоянно или длительное время действующий комплекс сооружений и мероприятий по восстановлению естественной самоочищающей способности компонентов геосистем, снижению до допустимых норм поступления в них загрязняющих веществ, локализации и удалению этих веществ, обеспечению экологически безопасного существования биоценозов и человека. К ним относятся системы очистки земель от загрязнения нефтепродуктами, тяжелыми металлами и другими веществами.

3 Инженерная природоохранная система (ИПС) – постоянно или длительное время действующий комплекс сооружений и мероприятий для защиты территории от негативных последствий природопользования и природообустройства. Назначение таких систем – защита поселений, промышленных и сельскохозяйственных районов, особо охраняемых природных территорий, рекреаций от побочного негативного влияния деятельности вблизи границ объекта. Такие системы способны перехватывать загрязненный поверхностный и подземный сток с прилегающей территории, предотвращать переосушение территории.

4 Инженерная противостихийная система (ИПСС) – постоянно или длительное время действующий комплекс сооружений и мероприятий для защиты территории от неблагоприятных природных воздействий: селей, наводнений, подтопления, суховеев, размыва берегов, оползней, эрозии, дефляции, заморозков.

5 Система регулирования речного стока (СРРС) – постоянно или длительное время действующий комплекс сооружений и мероприятий сезонного и многолетнего регулирование стока рек.

6 Инженерная система рекультивации земель (ИСРЗ) – временно действующий комплекс сооружений и мероприятий, который применяется для создания оптимального рекультивационного режима на землях различного назначения. Особенность систем в том, что они создаются на период рекультивационных мероприятий, на сравнительно короткий срок, после которого проект завершается, земли переводятся в другой фонд и передаются землепользователям.

7 Системы водоснабжения, водоотведения, обводнения – постоянно или длительное время действующий комплекс сооружений и мероприятий, обеспечивающих потребности в воде требуемого качества, а также удаляющих использованные воды, с очисткой и размещением их в водоприемнике. Это повсеместно распространенные системы, повышающие полезность территории для человека и потому относящиеся к ПТК природообустройства.

8 Система хранения отходов (СХО) – комплекс сооружений и мероприятий, обеспечивающих длительное экологически безопасное хранение отходов потребления и производства. К ним относятся полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), устройство которых позволяет компактно, экологически и пожаробезопасно хранить ТБО, контролируя и управляя процессом их разложения.

## 

## 7.1 Виды ПТК природопользования

ПТК природообустройства существуют в тесном контакте с другими системами и комплексами, среди которых есть и ПТК природопользования. Они подчиняются своим закономерностям и имеют особые свойства.

Понимая под ПТК единство природных и техногенных компонентов, рассмотрим ПТК природопользования по видам техногенных блоков, функции и состав которых различны:

- предприятия, производственные комплексы, производственно-территориальные комплексы – специализированные ПТК, имеющие социально-экономической целью потребление и переработку природных ресурсов. Различаются по отраслям экономики, уровню организации. К ним относятся сельскохозяйственные предприятия, заводы и фабрики, предприятия энергетики, ресурсодобывающие и перерабатывающие комплексы;

- города, поселения, курорты и рекреации;

- места размещения отходов (отвалы шлама, терриконы, свалки);

- военные объекты (полигоны, склады);

- инфраструктуры транспорта и связи (дороги, трубопроводы, аэродромы).

Основные принципы природообустройства являются наиболее общими подходами к деятельности по направленному изменению природы. Они реализуются при создании, функционировании и управлении ПТК природообустройства и дополняются некоторыми требованиями, вытекающими из особенностей инженерной проектной деятельности.

При создании ПТК надо последовательно решить ряд задач, которые удобно рассмотреть по стадиям создания ПТК природообустройства.

Предпроектная стадия***.***

Обоснование необходимости природообустройства.Природообустройство дорогая и потенциально экологически опасная деятельность, поэтому обосновывать его необходимость нужно особенно аккуратно. Природообустройство часто предшествует природопользованию, это происходит в тех случаях, когда свойства геосистем и компонентов природы не устраивают природопользователей. В зависимости от степени изменения конкретной геосистемы и планируемого вида природопользования следует выбрать конкретный вид обустройства территории. При этом природообустроитель решает задачу согласования требований природопользователя и свойств геосистемы. Природообустроитель не просто улучшает, а изменяет состояние (свойства, ценность) конкретной геосистемы в сторону увеличения её общей полезности, доводя некоторые компоненты природы до заданного, известного заранее, качества. После выбора вида природообустройства следует этап выбора конкретного варианта реализации ПТК.

Выбор конкретного варианта реализации ПТК и его эколого-экономическое обоснование.На данном этапе необходимо выбрать задачу оптимизации, целевая функция которой – экономическая эффективность ПТК, ограничения – сформулированные ранее социально-экономическая цель, масштабы воздействия и эколого-ресурсные пределы нагрузки на геосистему; критерии оптимизации – управляемые факторы и условия существования геосистем и ПТК. Эколого-экономическое обоснование позволяет еще на предпроектной стадии сравнить методы управления для выбора наилучших.

Решение этих задач позволяет сформулировать техническое задание для проектирования и требования к точности и объемам предпроектных изысканий.

Предпроектные изыскания. Требование информационного обеспечения реализуется на всех этапах предпроектной стадии. При этом нужно иметь необходимую и достаточную для принятия решений информацию об изменяемой геосистеме, экономической и социальной ситуации.

Как правило, нужно знать иерархический уровень и границы геосистемы, генезис, состав и свойства подсистем и компонентов природы, протекающие в геосистеме процессы, характер и степень техногенного воздействия, межсистемные связи, устойчивость и меру допустимой антропогенной нагрузки. Отметим, что изменчивость и неоднородность, особенно стохастическая, свойств компонентов природы осложняет сбор необходимых данных. Наличие достоверной информации позволяет выявить внутреннюю неоднородность геосистемы и эффективно реализовать принцип необходимого разнообразия. Ввиду уникальности ПТК необходимо научное сопровождение проектов, так как типовые решения и сооружения без адаптации к конкретной геосистеме, как правило, не обеспечивают эффективного управления ПТК.

Требуемая степень изучения экономической и социальной сферы зависит от правового статуса ПТК, размеров, сложности и времени жизни проекта, стоимости и источника финансирования, потенциальной экологической опасности.

Стадия проектирования. На этой стадии, на основе поставленной социально-экономической цели и собранной информации, необходимой для создания природно-техногенного комплекса, нужно принять решения по выбору параметров сооружений, техники и технологий, применяемых в ПТК. Необходимо рассчитать требуемую мощность ПТК, его состав и конструкцию, время жизни проекта. При прочих равных условиях для осуществления принятых решений следует использовать технику и технологию, обеспечивающую: ресурсосбережение, высокий кпд, требуемую локализацию воздействия, возможность модернизации и адаптации, сниженное влияние человеческого фактора.

В соответствии с принципом предсказуемости конкретная технология выбирается с помощью моделей и прогнозов развития системы. Инвестиционный проект создания ПТК природообустройства должен составляться в нескольких вариантах, учитывающих использование разной техники и технологии, что позволит полнее оценить её экологическую пригодность и экономическую эффективность, а также подтвердить финансовую реализуемость проекта. По сути, необходимо выбрать один из нескольких вариантов, каждый из которых обеспечивает получение одного и того же результата.

Требование гласной экспертизы проекта выражается в обязательной проверке соответствия фактических результатов нормативным требованиям на всех стадиях осуществления проекта. Для этого используют оценку воздействия на окружающую среду, государственную экологическую экспертизу и экологический аудит, проводя их в соответствии с требованиями действующего законодательства. Если заключение экспертизы проекта отрицательное, требуется обязательная доработка или существенное изменение проекта.

Стадия строительства. На этой стадии выбирается технология строительства и организуются строительные работы. Поскольку ПТК природообустройства – часто большие и сложные объекты, практикуют деление всего периода строительства на очереди, что позволяет постепенно сдавать в эксплуатацию отдельные участки, осваивать их и одновременно доводить мощность системы до проектной. Важным элементом контроля является экспертиза и приемка участков и отдельных сооружений, которая позволяет эффективно управлять качеством строительства системы.

Стадия эксплуатации. Основной на стадии эксплуатации является задача управления ПТК. Ввиду крайней неоднородности свойств природы и нелинейности природных процессов, а также изменчивости погодных условий, нужно, ориентируясь на средние, среднемноголетние величины неуправляемых факторов, количество фотосинтетически активной радиации (ФАР), осадков, величины температуры воздуха, стока рек, создавать предварительную схему действий на год (вегетационный период), которая позволит достичь определенных проектом ПТК пределов регулирования управляемых параметров. При управлении ПТК кроме стратегического управления необходимо и оперативное. В соответствии с принципом адекватности воздействий, оперативное управление (принятие решений по управлению сроком на дни – декаду) нужно основывать на краткосрочных прогнозах, стараясь использовать при этом наукоемкие технологии: экспертные системы, дистанционное зондирование, моделирование и геоинформационное сопровождение в реальном времени.

Следует стремиться к некоторому интервалу эффекта, поскольку и воздействие на управляемые факторы оказывается в некотором интервале. При управлении существует ряд рисков: из-за аварий, из-за изменчивости погодных условий. Риски по причине форс-мажорных обстоятельств нужно оценивать расчетами и страховать.

Непременный элемент управления ПТК в соответствии с принципом адекватности воздействий – мониторинг природных и техноприродных процессов.

Мониторинг – система повторных наблюдений за компонентами природы в пространстве и во времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленными программами. Включает наблюдение, оценку, прогноз развития, часто базируется на геоинформационных системах. Система мониторинга обеспечивает обратные связи в управлении ПТК. Необходимо научное обоснование периодичности наблюдений, выбора непосредственного объекта и технических средств мониторинга, сопряжения систем дистанционного зондирования.

## 

## 7.2 Природная и техногенная составляющие ПТК

В соответствии с геосистемным подходом природной составляющей ПТК является геосистема того или иного ранга, от наименьшей (фаций) до крупной (местность и даже ландшафт). Воздействие человека на ландшафт следует рассматривать как природный процесс, в котором человек выступает как внешний фактор.

К техногенным компонентам относятся мероприятия и все виды созданных человеком объектов для достижения социально – экономических целей. Техногенные объекты можно разделить на технические устройства и сооружения – точечные, локальные объекты; инженерные сети – протяженные и разветвлённые объекты, связывающие устройства и сооружения; технические системы – комплекс разнообразных сооружений и инженерных сетей, расположенных на определённой территории и функционирующих в соответствии с единой задачей.

Встроенные в ландшафт или в геосистемы любого ранга искусственные сооружения или вносимые в него новые элементы функционируют в нем, подчиняясь природным законам, работают вместе с природными элементами.

Участие человека в техногенном изменении геосистем не ограничивается встроенной техникой. Большую роль играют мероприятия, которые, будучи однажды, многократно или периодически проведенными, придают компонентам природы новые устойчивые качества, не оставляя после себя сооружений, построек, технических систем. Таким образом, мероприятия влияют в основном на свойства компонентов природы (впитывающая способность почвы увеличивается при мелиоративной вспашке, на емкость поглощения влияет внесение сорбента). Для регулярных воздействий, изменения состава компонентов природы и управления природными процессами создаются специальные технические элементы – подсистемы.

Для мелиоративных систем такой анализ подсистем был проделан еще А.Н. Костяковым, который к оросительной системе относит источник орошения, головное сооружение, магистральный оросительный канал, распределительные каналы, временную оросительную регулирующую сеть, водоотводящую сеть, искусственные сооружения, поливную технику, дороги, лесополосы.

Строго говоря, мелиоративные системы привязываются к водоисточникам и водоприемникам, в качестве которых выступают естественные или искусственные водные объекты. Последние, по нашему мнению, не входят в состав мелиоративных систем.

Очевидно, что современная экономическая система в России требует строго различать участки земель по их правовому статусу. Так, возможна ситуация, когда осушительная система принадлежит одному собственнику, а осушенные земли сельскохозяйственного назначения – другому. Тогда можно включить в состав данного ПТК земли, отчужденные для строительства каналов и других сооружений системы, но земли, занятые посевами или посадками культур, строго говоря, в состав такого ПТК не входят.

На современном этапе необходимо оценивать состав техногенных блоков не только мелиоративных систем. Обобщая его классификацию на другие ПТК природообустройства, можно выделить следующие технические подсистемы:

1 Регулирующая подсистема непосредственно оказывает влияние на природные процессы. Представляет собой, как правило, инженерные сети, подводящие либо отводящие вещество; они должны оптимально покрывать площадь. Примеры: дренажная и оросительная сети, регулирующие водный режим; вертикальный дренаж, создающий условия для очистки земель от нефтепродуктов; сеть дренажных и газоотводных трубок для отвода фильтрата и биогаза из пласта отходов на полигоне ТБО.

2 Проводящая подсистемаподает (отводит) вещество к (от) регулирующей сети. Это сеть коллекторов в осушительной и канализационной сети, магистральные и распределительные каналы и трубопроводы.

3 Локализующая подсистема ограничивает по площади действие регулирующей сети, защищая окружающую ПТК среду от косвенных и побочных негативных воздействий. Это, например, контурный дренаж по границам орошаемого массива, противофильтрационные завесы как защита от осушающего действия, стена в грунте, изолирующая область загрязнения нефтепродуктами и препятствующая их движению.

4 Ограждающая подсистема защищает ПТК от нежелательных внешних воздействий. Это и береговой дренаж, защищающий поселение от подтопления, и дамба обвалования для защиты территории от затопления.

5 Аккумулирующая подсистема запасает вещество. Например, чаша водохранилища запасает воду в соответствии со способом регулирования – сезонным или многолетним. Водооборотные системы имеют специальные накопительные резервуары для повторного использования воды, польдерные системы имеют бассейны-накопители; на системах утилизации сточных вод накопители стоков используются для согласования режимов их поступления и режима орошения.

6 Заборная и сбросная подсистемы – с их помощью ПТК связаны с источниками и приемниками веществ. Как правило, это водозаборы и водоприемники.

7 Гидротехнические сооружения строятся в составе тех ПТК, которые используют водные потоки. К гидротехническим сооружениям относятся сооружения на каналах (регуляторы, акведуки, перепады, дюкеры, вододелители), насосные станции, плотины, водосбросы.

8 Подсистемы обеспечения экологической безопасности снижают и компенсируют экологическую опасность ПТК, действуют как в штатном, так и в аварийном режимах. К ним относятся очистные сооружения и биоплато, опреснители поливной воды, поля фильтрации, песколовки в каналах и пр.

9 Подсистемы мониторинга, контроля и автоматизации поддерживают и обеспечивают прямую и обратную связи при управлении ПТК.

10 Эксплуатационная инфраструктура включает в себя производственные, жилые и административные постройки; дороги; линии связи и электросети; техника для эксплуатации ПТК; запасы стройматериалов, стандартных сборных элементов, запчастей для техники.

# 

# 8 Прогнозирование, моделирование и мониторинг ПТК

# природообустройства

## 

Прогнозирование – основанный на ретроспективном анализе системы и её поведения метод получения конкретного предсказания или вероятностного суждения о состоянии системы в будущем.

По сути, прогнозирование – это выбор одного или нескольких наиболее вероятных вариантов (сценариев) состояния системы в будущем из множества возможных. Часто требуется именно многовариантный прогноз. Например, прогноз техногенной аварии на химическом заводе составляется для нескольких вариантов количества и качества выбросов. Прогноз затопления территории при наводнении составляется для нескольких уровней воды.

Прогноз должен быть достоверным, по возможности опираться на модели прогнозируемых процессов. От прогноза следует отличать предупреждение-экстраполяцию, которое основывается на простейших балансовых расчетах и отвечает на вопрос что будет, если процесс будет идти наблюдаемыми темпами.

В природообустройстве нужны прогнозы функционирования и развития природных систем при антропогенном влиянии. Прогнозирование природных и техно-природных процессов осложнено неопределенностью условий, в которых они протекают, а также изменчивостью во времени свойств природных тел; нелинейностью природных процессов, а также резкой вариацией погодных условий.

Прогноз может быть количественным или качественным. По масштабам прогнозируемых явлений прогнозы делятся на глобальные, региональные, национальные, локальные. По срокам прогнозы делятся на краткосрочные (в основном для нужд оперативного управления ПТК), среднесрочные и долгосрочные (на время, сравнимое со сроками существования ПТК).

Методики прогнозирования:

- линейная экстраполяция с помощью обнаруженных для предшествующего и современного развития процесса функциональных зависимостей;

- модельная экстраполяция с помощью расчетов на модели процесса, в том числе учитывающей возможную нелинейность процесса, для условий будущего;

- интуитивное (экспертное) предсказание (метод Делфи), когда мнения ряда исследователей-экспертов обобщаются с помощью специальных методик статистики и теории планирования эксперимента;

- анализ причинно-следственной связи (метод аналогии), когда предполагается, что грядущий процесс для данной системы в чем-то аналогичен уже известным явлениям, проходившим в сходных условиях;

- на основе гипотезы первичного толчка, при котором наблюдаемое слабое изменение, несущественное сейчас, рассматривают, как способное перерасти в сильное, значительное;

- качественный скачок: прогноз основан на предсказании перехода слабого роста в резкий и вызванных этим изменений.

Природообустройство дорогая и экологически опасная деятельность, поэтому специалисту необходимо по возможности полно изучать функционирование геосистем и ПТК, а также вырабатывать эффективные механизмы управления ими. Современный уровень развития науки позволяет создавать прогнозы функционирования как в штатных, так и в аварийных условиях. Один из наиболее удобных способов создания прогнозов – с помощью моделей природных процессов.

Модель – физическое или знаковое упрощенное подобие реального объекта, явления или процесса.

Целью моделирования является воспроизведение некоторых характеристик изучаемого объекта для его изучения. Модели нужны, когда на натурном объекте невозможно, долго или дорого получать интересующие нас результаты; когда нельзя обойтись другими менее сложными методами.

Требования к моделям в природообустройстве:

1 Максимально возможный учет фундаментальных свойств геосистем: целостности; структурности; изменчивости погодных условий; неоднородности компонентов природы; 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, намечаются тенденции процессов, полностью развертываются и затухают переходные процессы.

3 Учет функционирования техногенных компонентов, для чего моделируют отдельно работу сооружений, воздействие сооружения на геосистему, а также воздействие геосистемы на сооружение.

Ценные результаты приносит изучение реальных объектов в реальных условиях. По результатам таких наблюдений делаются обобщения производственного опыта, что позволяет вырабатывать зональные рекомендации, например, по выбору состава культур при рекультивации. 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. С другой стороны, очевидна недостаточность временных рядов, трудоемкость и маловариантность таких исследований, а также их слабая прогностичность.

Физическое моделирование осуществляется на материально-энергетических объектах. К этому виду относятся натурные эксперименты, позволяющие наиболее полно, без искажений и упрощений, изучать эти процессы. Способ удобен для исследования работы технических устройств; позволяет учитывать многие трудно формализуемые условия протекания процесса. Сложность организации таких исследований, малая скорость их протекания ограничивают сферу применения этого способа.

Математическая модель – это совокупность математических объектов (данных) и отношений между ними, отражающих некоторые свойства моделируемого процесса.

Чтобы описать явление, необходимо выявить самые существенные его свойства, закономерности, внутренние связи, роль отдельных характеристик явления. Выделив наиболее важные факторы, можно пренебречь менее существенными. Для исследования сложных процессов в объектах, изменяющихся с течением времени, применяются дескриптивные (описательные) математические модели в виде дифференциальных или интегральных уравнений или систем уравнений. Уравнения составляются на основании физических, химических, биологических законов. Решения таких систем дифференциальных уравнений являются функциями времени и, следовательно, могут описывать изменения во времени процессов, происходящих внутри моделируемых объектов. Математическое моделирование позволяет быстро просматривать много вариантов ситуаций, в этом его достоинство. Недостаток – в неполноте учета всего многообразия природных процессов, в недостаточной количественной изученности процессов. Поэтому модели должны быть оптимально сложны, чтобы принятые допущения не приводили к существенным ошибкам в принятии решений.

Различают аналоговое и цифровое моделирование. Аналоговое моделирование занимает промежуточное положение между физическим и математическим. С одной стороны, изучается процесс, протекающий в материально-энергетической системе, с другой стороны, результат наблюдения интерпретируется с помощью математической аналогии описания большой совокупности процессов: приведенные ниже законы теплопередачи, электрического тока, диффузии, фильтрации математически аналогичны. Поэтому, например, исследуя распределение электрического поля в сплошной электропроводной среде, можно описывать другие процессы (фильтрацию воды в пористой среде или распространение тепла), имеющие аналогичное математическое описание, применяя коэффициенты подобия между напряжением и напором воды или напряжением и температурой, силой тока и фильтрационным потоком или потоком тепла. Электрическая проводимость модели воспроизводит в определенном масштабе влаго- или теплопроводность.

Цифровое (численное) моделирование основано на расчетах по уравнениям и формулам, полученным путем описания законов движения веществ и энергии в природных телах.

Математические модели широко используются в современных науках, опирающихся на геосистемный подход. В его рамках важно описать структуру ландшафта, которая определяет виды, направленность и интенсивность природных процессов. Один из наиболее общих подходов к описанию структуры – представление о ландшафте как объекте, который формируется и развивается под действием совокупности геофизических полей – поля силы тяжести, инсоляции, поля температур воздуха, почвы, поверхностных вод, давлений воды в разных природных телах, поля влажности почвы и пр. При этом кроме привычных специалистам моделей земного гидрологического цикла в системе атмосфера-вода-почва-растение возникает необходимость моделирования морфометрических характеристик поверхности. К их числу относят высоту местности, показатели кривизны земной поверхности, кривизну горизонталей и линий тока, а также некоторые другие, связанные с гидрологическими характеристиками террритории. Они определяют геохимические процессы в геосистеме, продуктивность растений на различных формах рельефа, распределение выпавших осадков по территории, формирование поверхностного стока воды, эрозию и дефляцию почвы. Такой подход позволяет связать модели отдельных процессов в единый комплекс, позволяющий описывать взаимосвязанные процессы в геосистемах.

Модели классифицируют по их размерности. Важно, что природные тела и процессы существенно пространственны, развиваются в условиях неоднородности, изменчивости среды, поэтому любое их описание страдает неполнотой. Нуль-мерные или балансовые модели описывают изменение запасов вещества или энергии в зависимости от величины приходов и расходов. В них нет пространственных и временных координат в явном виде, время и геометрические размеры объектов косвенно учитываются тем, что баланс составляется для фиксированного промежутка времени (сутки, декада, период вегетации, год и т.д.) и определенного объема природного тела, которому соответствует строго определенная площадь территории.

Одномерные модели описывают развитие процесса во времени по одной пространственной координате. В ряде случаев этого достаточно для моделирования влагопереноса в почве в вертикальном направлении, движения водного потока в реке или канале. Такие модели сравнительно легко параметризовать, специальные приемы описания природных тел позволяют повышать достоверность получаемых результатов.

В ряде случаев процесс нельзя рассматривать как развивающийся вдоль основного направления. Необходимо использовать двумерные модели, которые оперируют двумя координатами каждой точки в пространстве. Такие модели позволяют получать принципиально иные результаты по сравнению с нуль-мерными и одномерными, описывать гораздо более сложные процессы.

Наиболее сложны в создании и параметризации трехмерные модели, но именно они ближе всего к достоверному описанию природных процессов. Такие модели нужны для описания сложных потоков грунтовых и подземных вод, геохимических потоков в природных телах и т. п. Пока они слабо распространены, хотя уже созданы коммерческие моделирующие программные продукты, позволяющие решать задачи в трехмерной постановке. Один из наиболее известных – MIKE She Датского гидравлического института (DHI), который применяется для описания земного гидрологического цикла на водосборе. Основные причины слабого их распространения – вычислительная сложность и нехватка исходных данных.

Единственно возможный путь нахождения баланса сложности моделей и точности, детальности описания процессов – сочетание различных видов моделей, иерархическое их сопряжение, интеграция детально описанных процессов на уровне представительного объема природного тела в единый процесс на уровне геосистемы.

При описании круговорота веществ и энергии в природе и в техно-природных системах используются следующие основные законы:

1 движение твердых тел подчиняется второму закону Ньютона, по которому ускорение движения твердого тела прямо пропорционально сумме действующих сил в направлении движения F и обратно пропорционально массе тела M:

,

*V* - скорость, *t* – время;

2 плотность теплового потока, т.е. потока тепла через единичную площадь в единицу времени определяется по закону теплопроводности Фурье:



 - коэффициент теплопроводности,  - температура, - градиент температуры вдоль оси потока, знак минус означает, что направление потока тепла противоположно градиенту температуры, следовательно, тепло движется в сторону падения последней, что очевидно;

3 постоянный электрический ток в металлах описывается законом Ома:



*γ* - удельная электропроводность металла,  - градиент напряжения *U*;

4 процесс диффузии в растворах, т.е. установление равновесного распределения концентраций, в простейшем случае при постоянной температуре и отсутствии внешних электрических полей и других внешних сил описывается вторым законом Фика, единичный поток вещества равен:



*D* - коэффициент диффузии, точней – самодиффузии, так как возможна еще и термодиффузия, бародиффузия, электродиффузия, *c* – концентрация;

5 медленное ламинарное течение жидкости через пористую среду со скоростями, измеряемыми сантиметрами или миллиметрами в сутки, т.е. фильтрация или влагоперенос, описывается законом Дарси, скорость фильтрационного потока, точней – единичный поток жидкости через единицу поверхности пористой среды, равна:



*kф* – коэффициент фильтрации, учитывающий свойства пористой среды и свойства жидкости, *H* - напор фильтрационного потока;

6 водные потоки в руслах рек, в каналах, в трубах имеют большую скорость, измеряемую метрами или десятками сантиметров в секунду, вследствие этого они сильно завихрены, турбулентны и на перемещение водных масс в таком режиме требуется больше работы, совершаемой внешними силами. Они подчиняются другому закону – Шези, поток воды через за единицу времени через поверхность, площадь которой равна единице, равен



*K* – коэффициент, учитывающий трение потока о стенки русла, а также свойства текущей жидкости, *H* - напор потока.

К фундаментальным законам природы относятся также законы сохранения вещества, энергии, количества движения. Они позволяют получать уравнения движения веществ, переноса тепла или электрического тока в интегральной форме, или, рассматривая их баланс в бесконечно малом объеме за бесконечно малое время, в дифференциальной форме. Законы движения используются для подсчета прихода вещества в малый объем и расхода. Дифференциальные, а иногда и интегро-дифференциальные уравнения решаются или аналитически – для простых случаев, или численно с помощью компьютеров, что чаще всего имеет место. При решении таких уравнений надо четко сформулировать начальные и граничные условия, которые вытекают из смысла решаемой задачи.

Перед природообустройством и мелиорацией в частности стоят задачи, требующие подробного описания передвижения влаги в почве. Вода в почве движется за счет двух факторов – градиента сил, выводящих её из равновесия, и проводимости почвы. Многочисленные опыты показали, что движение влаги в почве может быть описано законом Дарси, по которому скорость движения линейно зависит от градиента действующих сил.

В почве преобладают вертикальные потоки влаги, поэтому рассмотрим одномерное вертикальное движение влаги через призматический объём почвы с площадью сечения F и высотой L.

F

0 эпюра влажности (положение 1)

эпюра влажности (положение 2)



уровень грунтовых вод

х

Рисунок 2. Расчетная схема к выводу дифференциального уравнения влагопереноса в почве.

Поместим начало координат на поверхности земли и направим ось *x* вниз. Предположим, что в рассматриваемом объеме почвы происходит неустановившееся движение почвенной влаги, вызванное увлажнением с поверхности. Тогда за время *Δt* в этом объеме произойдет изменение эпюры влажности от положения 1 до положения 2. Рассмотрим баланс почвенной влаги в небольшом слое толщиной *Δx* за время *Δt*. За это время в нем произойдет накопление запасов влаги, равное *Δω Δx F*. В соответствии с законом сохранения вещества это изменение должно равняться разности между притоком влаги в этот слой и расходом из него.

Объем притока влаги через верхнее сечение слоя *Δx* равен *V F Δt*, где *V* – скорость движения влаги в этом сечении. На выходе из этого слоя скорость изменится и станет равной *V+ΔV*, где *ΔV* – приращение скорости. Помимо этого, из этого слоя возможен отбор влаги корнями растений *ek*. Выразим его в виде единичной интенсивности отбора влаги в *м3всут-1* из 1 *м3* почвы, тогда *ek* будет иметь размерность . В этом случае расход влаги из слоя *Δx* будет равен *(V+ΔV) F Δt + ek Δx F Δt*. Запишем уравнение баланса почвенной влаги:



или, после некоторых упрощений:



Это уравнение в конечных разностях, удобное для решения на компьютере. Если устремить *Δt* и *Δx* к нулю, получим дифференциальное уравнение движения почвенной влаги:



Используя ранее записанный закон Дарси для описания скорости фильтрационного потока, получим



 - коэффициент влагопроводности *м3в м -2 сут-1*, (*м3в* – кубический метр почвенной влаги или подземных вод) зависящий от влажности почвы и коэффициента фильтрации, по А.И. Голованову

,

- объемная влажность почвы, *м3в м-3*, – максимальная гигроскопичность почвы, *м3в м-3*, *р* – полная влагоемкость или пористость почвы, *м3в м-3*.

Связь между влажностью и капиллярно-каркасным потенциалом можно описать следующим образом



 - капиллярно-каркасный потенциал, *hk* – высота капиллярного поднятия,  и *n* – безразмерные эмпирические коэффициенты.

Тогда выразим

,

 - коэффициент влагоемкости, *м3в м-4*.

В этом уравнении *H = -х +ψ* - полный напор почвенной влаги, *м*, зависящий для рассматриваемой точки от её координаты и капиллярно-каркасного потенциала. В зоне неполного насыщения *ψ<0*, на поверхности грунтовых вод *ψ=0*, под уровнем грунтовых вод *ψ>0* и равен *ψ = -x -hг.*

Для решения такого уравнения нужно задавать начальные и граничные условия по смыслу задачи, а для решения задач в системе почва – растение - дополнять моделью продуктивности растений, такой, например, как модель В.В. Шабанова.



*U0* – потенциальная урожайность данной культуры при всех оптимальных условиях и агротехнике; *Uф* – фактическая урожайность при неблагоприятных условиях; *Kω, Kθ, Kn, Ks, Kz* – коэффициенты, учитывающие неоптимальное увлажнение почвы, обеспеченность теплом, питательными веществами, снижение урожайности из-за засоления и загрязнения почвы. Набор этих коэффициентов может быть увеличен. Влияние влажности на урожайность можно определить по формуле В.В. Шабанова:

;

,  , ;

i – номер декады вегетационного период; *n* – число декад; *αi*– вклад каждой декады в урожайность, их сумма равна единице; *w* – относительная влажность почвы в корнеобитаемом слое в каждую декаду; *ω* - влажность почвы; *р* – пористость; *ВЗ* – влажность завядания; *wopt* – оптимальная влажность почвы в корнеобитаемом слое для каждой декады; *γ* - коэффициент чувствительности растения к неоптимальности влажности почвы. Зависимость коэффициента *β* от влажности имеет несимметричную куполообразную форму.

Коэффициент, учитывающий неоптимальность температуры почвы *Kθ*, определяется по аналогичной зависимости, в которой вместо влажностей подставляются реальная и оптимальная температура.

В соответствии с принципом адекватности воздействий природообустройство должно базироваться на мониторинге его объектов.

Мониторинг – система повторных наблюдений за компонентами природы в пространстве и времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленными программами.

Цель мониторинга – обеспечение экологически безопасного и рационального использования природных ресурсов, своевременного оповещения населения о состоянии окружающей среды и создания информационной базы для оценки, прогнозов и управления техно-природными системами. Мониторинг от других наблюдений за природой отличает: комплексность; непрерывность; единство цели и задачи исследований; системность; достоверность; одновременность; оперативность; информативность.

Мониторинг организуется как комплекс информационно-измерительных систем наблюдений на глобальном, национальном, региональном и локальном уровнях.

Глобальный мониторинг – это наблюдения за компонентами глобальной геосистемы, представленной планетой Земля. Основной задачей этого мониторинга является общепланетарный межгосударственный контроль за изменениями атмосферы, Мирового океана, состоянием лесных и почвенных ресурсов.

Национальный мониторинг – это единая государственная система, объединяющая системы мониторинга отдельных природных сред, природных и техно-природных объектов. Национальный мониторинг в России формируется при участии федеральных и региональных органов государственной власти.

Региональный мониторинг – это система наблюдений за изменением природной среды в пределах ландшафта, ландшафтного района и области. Региональный мониторинг отслеживает последствия природопользования и техногенного загрязнения на больших территориях, он является подситемой национального мониторинга и осуществляет комплексный контроль, оценку и прогноз состояния всех компонентов геосистемы на основе обработки информации локальных мониторингов.

Локальный мониторинг организуется для оценки и прогноза экологического состояния компонентов ландшафта, земель, территорий, включая населенные пункты, получения оперативной информации по отдельным природным и техно-природным объектам и разработки способов оздоровления окружающей среды в зоне проводимых наблюдений.

Специальный мониторинг создается на природно-техногенных комплексах для получения информации о состоянии природного и техногенного блока. Например, на инженерно-экологических системах создается для контроля за локализированными источниками загрязнения и управления потоками вещества с целью повышения самоочищающей способности природных компонентов.

Получение необходимых сведений для различных уровней мониторинга осуществляется с помощью дистанционного зондирования, наземных наблюдений, базовых (фондовых) данных.

Мониторинг земель является составной частью мониторинга геосистемы: атмосферы, литосферы, гидросферы, биосферы. Объектом мониторинга являются все земли России, независимо от форм собственности, современного состояния, от цели и характера использования земель.

Мониторинг земель состоит из подсистем, которые ведутся по видам земель: мониторинг земель сельскохозяйственного назначения, мониторинг земель населенных пунктов и т.д.

Мониторинг земель предполагает изучение эволюционных, цикличных, антропогенных процессов; процессов, связанных с чрезвычайными ситуациями.

Наблюдения за состоянием почв осуществляются в рамках почвенного мониторинга, который может быть подсистемой мониторинга земель или системой наблюдения за экологическим состоянием почвы как компонента природной среды. Задачами почвенного мониторинга являются оценка изменения плодородия почв, потери массы почвы вследствие эрозии, контроль химических свойств, контроль водного режима и динамики загрязняющих веществ, исследование микробиологических процессов и адекватной реакции растительного покрова на конкретные почвенные условия.

Информационная база мониторинга земель служит для организации и ведения земельного кадастра, который содержит систему необходимых сведений и документов о правовом режиме земель, их распределении по собственникам земли, землевладельцам, землепользователям и арендаторам, а также сведения о категории земель, данные об их качественных характеристиках и коммерческой ценности.

**9 Методы исследований в сельскохозяйственной науке**

Научное исследование, то есть изучение и объяснение закономерностей развития явлений в любой области науки, может быть теоретическим или экспериментальным.

Первоосновой, источником теоретических исследований служит наблюдение, опыт, а обобщение экспериментальных данных развивает теорию. В большинстве случаев эксперимент является единственно надёжным способом решения поставленной задачи.

Общепринятым приёмом научного исследования является наблюдение или эксперимент (опыт).

Наблюдение *–* это количественная или качественная регистрация интересующих исследователя сторон развития явления, констатация наличия того или иного его состояния, признака или свойства.

На метеорологических станциях, например, ведут систематические наблюдения за температурой воздуха и почвы, осадками, направлением и силой ветра, влажностью воздуха и почвы. Мы можем наблюдать за засорённостью посевов, наличием в почве питательных веществ и влаги, морозостойкостью и засухоустойчивостью различных сортов, работой сельскохозяйственных машин. В ряде случаев этого вполне достаточно для установления связи между отдельными явлениями, признаками или свойствами и позволяет предвидеть эти явления, а, следовательно, оказывать на них определённое влияние. Однако чаще всего наблюдение в научных исследованиях не является самостоятельным приёмом, а составляет важную часть более сложного метода исследования – эксперимента, который иногда называют активным наблюдением.

Эксперимент, опыт *–* это такое изучение, при котором исследователь искусственно вызывает явления или изменяет условия так, чтобы лучше выяснить сущность явления, происхождение, причинность и взаимосвязь предметов и явлений. Характерная особенность любого точного научного опыта – его воспроизводимость*.*

По сравнению с наблюдением опыт имеет большие преимущества. Так, экспериментатор может сам воссоздать нужное ему явление, не дожидаясь когда оно наступит в природе, может расчленять и вновь объединять их, создавая надлежащие условия опыта, которые позволяют глубже изучать явления, понять их причину и следствие.

Важной задачей сравнительного эксперимента является количественная оценка результатов опытных вариантов. Один или несколько вариантов, с которыми сравнивают опытные варианты, называют контролем или стандартом. Совокупность опытных и контрольных вариантов составляет схему эксперимента.

Варианты бывают качественные – сорта, культуры, способы посева и обработки почвы, предшественники и количественные – поливная норма, дозы удобрений и пестицидов, глубина обработки почвы и т.п. Каждый вариант применяют к одной или нескольким элементарным единицам опыта. Число одноимённых элементарных единиц контрольного или опытного варианта называют повторностью.

В практике научных исследований используют в основном 4 типа сравнительных экспериментов: лабораторный, вегетационный, лизиметрический и полевой.

Лабораторный эксперимент *–* исследование, осуществляемое в лабораторной обстановке с целью установления действия и взаимодействия факторов на изучаемые объекты*.* Проводят лабораторные опыты как в обычных, так и в искусственных строго регулируемых условиях – в термостатах, боксах и климатических камерах, позволяющих строго регулировать свет, температуру, влажность воздуха и другие факторы. Для лабораторного опыта не обязательно наличие растения.

Вегетационный эксперимент *–* исследование, осуществляемое в контролируемых условиях – вегетационных домиках, теплицах, оранжереях, климатических камерах и других сооружениях с целью установления различий между вариантами опыта и количественной оценки действия и взаимодействия изучаемых факторов на урожай растений и его качество. Обязательным требованием к вегетационному опыту является наличие опытного растения. В качестве субстрата для выращивания растений используют почву, песок или воду. В зависимости от субстрата, на котором выращиваются растения, различают вегетационные опыты с почвенными, песчаными, гравийными, водными и стерильными культурами.

Совершенствование техники вегетационного метода привело к созданию современных сложных инженерных сооружений – автоматизированных станций искусственного климата – фитотронов*.* Фитотронвключает лабораторный корпус, оранжереи, климатические и морозильные камеры, позволяющие круглый год вести работы с растениями, моделируя для них любые условия жизни. Это позволяет не только намного сократить сроки проведения исследований, но и решать фундаментальные теоретические проблемы по селекции, питанию растений, которые раньше были недоступны.

Лизиметрический сельскохозяйственный эксперимент – исследование жизни растений и динамики почвенных процессов в специальных лизиметрах, позволяющих учитывать передвижение и баланс влаги и питательных веществ в естественных условиях*.* Лизиметрический метод отличается от вегетационного тем, что исследование жизни растений и свойств почвы проводят в поле, в специальных лизиметрах, где почва отгорожена со всех сторон от окружающей почвы и подпочвы. Основное условие, определяющее конструкцию лизиметра, – приспособления, позволяющие изучать просачивание воды и растворённых в ней веществ. Мощность слоя в лизиметре может варьировать в широких пределах – от глубины пахотного слоя до 1 – 2 м.

Лизиметрические опыты проводятся в земледелии, мелиорации, почвоведении для выяснения таких вопросов, как водный баланс под различными сельскохозяйственными культурами, вымывание и перемещение питательных веществ атмосферными осадками и поливными водами, определение коэффициентов транспирации в естественной обстановке.

Материалы, из которых изготовляют лизиметры, могут быть очень разнообразными: делают бетонные и кирпичные лизиметры объёмом 1 – 2 м3 в расчёте на длительное использование; металлические – с радиусом от 10 до 40 – 50 см и так называемые лизиметрические воронки диаметром 25 – 50 см. могут быть и другие конструкции лизиметров.

В лизиметрах значительно легче вести учёт влаги и питательных веществ в почве и растениях, растущих на ней. Однако полное отделение почвы в лизиметрах от ниже её лежащих слоёв, создаёт в них несколько иной питательный и вводно-воздушный режим, чем в обычных полевых условиях.

Для выяснения закономерностей передвижения воды и растворённых в ней веществ через определённый слой почвы принцип лизиметрических исследований широко применяют в лабораторных экспериментах, в которых не обязательно наличие растений.

Лизиметрические опыты в полевых условиях с растениями занимают промежуточное положение между вегетационными и полевыми экспериментами. Аналогичное положение занимают и так называемые вегетационно-полевые эксперименты, которые проводят в поле в цилиндрических или квадратных сосудах без дна. Почва в сосудах или ящиках отгорожена здесь только с боков на глубину 20 – 50 см и всё время находится в контакте с подпочвой при естественном увлажнении и аэрации. Важно отметить, что такие опыты могут быть заложены как на специально выделенном участке, так и среди поля, в условиях климата той зоны, в которой развиваются растения в естественной обстановке. Кроме того, проведение вегетационно-полевых опытов не требует соответствующей материальной базы и специального оборудования, необходимых при постановке вегетационных и лизиметрических опытов.

С помощью современных технических средств – стационарных и передвижных климатических вегетационных камер низких температур и передвижных вегетационных домиков из полиэтиленовой плёнки с автоматическим регулированием факторов внешней среды можно моделировать все мыслимые типы климата на разных этапах вегетации растений, присущие данному региону. Это позволяет учёным разложить погоду на составляющие её элементы и познать роль каждого из них в формировании урожайности, что практически невозможно в естественных полевых условиях.

Полевой сельскохозяйственный опыт – исследование, осуществляемое в полевой обстановке на специально выделенном участке. Основной задачей полевого опыта является установление различий между вариантами опыта, количественная оценка действия факторов жизни, условий или приёмов возделывания на урожай растений и его качество.

Как бы ни были ценны наблюдения, результаты лабораторных, вегетационных и лизиметрических опытов, прежде чем сделать выводы из них или рекомендовать к внедрению в производство, они должны быть проверены в условиях сравнительного полевого опыта. Всё это делает полевой опыт основным, важнейшим методом исследования в науках связанных с сельскохозяйственным производством.

Полевой опыт связывает теоретические исследования с практикой орошаемого земледелия. Результаты полевых опытов и обобщения практических наблюдений могут быть основанием для широкого внедрения новых средств повышения урожаев – способов и техники поливов, агротехнических приёмов.

Наряду с экспериментальными сельскохозяйственная наука широко использует лабораторные и полевые наблюдения за растениями и факторами внешней среды. Эти методы разнообразны и многочисленны. Они включают различные наблюдения и учёты в период вегетации, химические, физические, физико-химические, микробиологические, биохимические и др. виды анализов почвы, воды, растений и удобрений в лабораторных и полевых условиях.

Лабораторные и полевые наблюдения и учёты могут иметь самостоятельное значение, но чаще являются важной составной частью более широких исследований. Например, при проведении полевых, вегетационных и лизиметрических опытов правильная организация и осуществление лабораторных анализов растений и почв позволяют понять и объяснить сущность изучаемых явлений, сделать обоснованные выводы. В зависимости от целей и задач исследования относительное количество лабораторных и полевых наблюдений и учётов в общем объёме исследовательских работ может быть различным. Однако во всех случаях правильно спланированные и выполненные лабораторные и полевые наблюдения, учёты и анализы помогают понять ход процессов и на основании этого объяснить действие тех или иных факторов на урожай.

Важнейшую роль в современной сельскохозяйственной науке играют статистические методы планирования исследований и обработки полученных данных. Сравнительно недавно основное употребление статистики в опытном деле сводили к определению средних значений и их ошибок. В настоящее время математическая статистика является активным средством планирования эксперимента. Принципиальным её требованием является рекомендация неконтролируемых условий исследования, а статистически обоснованный план эксперимента определяет метод математического анализа данных. Опыт показывает, что при значительной неоднородности неконтролируемых условий проведение опыта только рендомизированные планы обеспечивают объективную, статистически достоверную оценку результатов исследований. При этом важно подчеркнуть, что если действие изучаемого фактора невелико, то рендомизированный план более необходим, чем при значительном его действии.

Наряду с важной задачей планирования эксперимента современные математические методы составляют неотъемлемую часть процесса обработки и интерпретации результатов наблюдений и опытов. Они позволяют извлечь максимум информации из исходных данных, оценить, насколько существенны, реальны различия между вариантами, установить коэффициенты уравнений регрессий и производственных функций – математических моделей урожаев, качества продукции, свойств почвы и других показателей.

Особенностью полевого опыта, является то, что культурное растение изучается вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических факторов, очень близких к производственным, или непосредственно в производственных условиях. Только полевой опыт может установить связь между урожаем и средствами воздействия на него.

Ценность результатов полевого опыта зависит от соблюдения определённых методических требований. Важнейшие из них следующие:

- типичность опыта;

- соблюдение принципа единственного различия;

- проведение опыта на специально выделенном участке;

- учёт урожая и достоверность опыта по существу.

Под типичностью, или репрезентативностью, полевого опыта понимают соответствие условий его проведения почвенно-климатическим (природным) и агротехническим условиям данного района или зоны. Любой полевой опыт должен отвечать требованию почвенно-климатической типичности*.* Очевидно, что нет смысла изучать приёмы повышения плодородия почв в опыте, расположенном на песчаных почвах, если результаты работы предполагается использовать на глинистых почвах.

К типичности относится также требование проведения полевого опыта при общем высоком уровне агротехники; опыты при низком уровне агротехники не имеют большой производственной ценности.

При постановке полевых опытов необходимо соблюдать единство всех условий, кроме одного – изучаемого. Это очень важное и обязательно требование методики называют принципом единственного различия. Он должен строго соблюдаться в опытной работе. Например, в полевом опыте с величиной увлажняемого слоя почвы единственным различием по вариантам будут поливные нормы. Все остальные условия опыта (доза удобрений, почвенные условия, способы обработки почвы, сорт и т.д.) во всех вариантах должны быть тождественными, одинаковыми. Без соблюдения этого требования методики нельзя правильно установить эффективность изучаемых глубин промачивания.

Несмотря на несложные принципиальные подходы к постановке опытов по принципу единственного различия в практике опытного дела, как при разработке схемы, так и при постановке и истолковании результатов полевого опыта, возникают значительные затруднения. Следует иметь в виду, что полное сохранение равенства всех условий, кроме изучаемого, оказывается невозможным из-за тесной связи и взаимосвязи между разными факторами жизни растений и почвы и действующими на них агротехническими приёмами.

Требование проведения полевого опыта на специально выделенном участке с хорошо известной историей – это логическое следствие требования принципа единственного различия. Оно также обязательно для любого полевого опыта. В практике опытного дела это требование методики нередко игнорируют, опыты закладывают на участках, история которых неизвестна, в связи с чем результаты таких опытов невозможно понять, интерпретировать и тем более пользоваться. Требование методики проводить опыты на специально выделенном участке чаще всего нарушается производственниками. Им кажется, гораздо проще и убедительнее ставить опыты не на специально выделенном севооборотном участке, а на целых полях севооборота; такие опыты, особенно единичные, не могут дать удовлетворительных результатов. Нельзя называть полевым опытом какие бы то ни было испытания приёмов агротехники или режимов орошения, если их проводят на случайных участках, с отсутствием элемента сравнения.

Требование учёта урожая и достоверности опыта. Урожай и качество сельскохозяйственных растений – главный объективный показатель при характеристике изучаемых в опыте факторов*.* В результате учёта урожая, который отражает и интегрирует действие на растение всех условий возделывания, становится возможным количественно установить влияние тех факторов, которые изучаются в данном опыте. Однако данные учёта урожая и оценки его качества могут иметь реальный смысл и объективно отражают изучаемое явление только в том случае, если опыт достоверен по существу.

Поддостоверностью опыта по существу понимают логически правильно построенную схему и методику проведения опыта, соответствие их поставленным перед исследованием задачам, правильный выбор объекта и условий проведения данного опыта*.* Очевидно, что опыты, проведённые по неправильно разработанной схеме и методике, при несоответствующих данному исследованию условиях или с нарушением методики и техники, т.е. опыты, недостоверные по существу, искажают эффекты изучаемых вариантов и не могут быть использованы для их сравнительной оценки. Такие опыты следует браковать.

При проведении опыта экспериментатор обычно встречается с тремя видами ошибок – случайными, систематическими и грубыми.

Ошибка – это расхождение между результатами выборочного наблюдения и истинным значением измеряемой величины. Оценка истинного значения результативного признака, например урожая, по полученным в полевом опыте данным является одной из основных задач математической статистики. Чтобы правильно решить эту задачу, необходимо знать основные ошибки и причины их возникновения.

Случайные ошибки – это ошибки, возникающие под воздействием очень большого числа таких факторов, эффекты действия которых столь незначительны, что их нельзя выделить и учесть в отдельности. Любой полевой опыт содержит в себе некоторый элемент случайности, т.е. изменчивость получаемых данных обусловлена в какой-то степени неизвестными нам причинами – случайными ошибками.

Случайное варьирование опытных данных – постоянный спутник полевых опытов, и ни в одном из них, как бы тщательно он ни проводился, нельзя получить абсолютно точные данные.

Характерная особенность случайных ошибок – их тенденция взаимно погашаться в результате приблизительно одинаковой вероятности как положительных, так и отрицательных значений, причём малые значения встречаются чаще, чем большие.

Систематические ошибки искажают измеряемую величину в сторону преувеличения или преуменьшения в результате действия вполне определённой постоянной величины. В полевом опыте такой причиной часто является закономерное варьирование не изучаемых факторов, например плодородия почвы.

Основную особенность систематических ошибок составляет их однонаправленность, т.е. они завышают или занижают результаты опытов. Это приводит к тому, что такие ошибки в отличие от случайных не имеют свойства взаимопогашения и, следовательно, целиком входят как в показания отдельных наблюдений, так и в средние показатели.

Грубые ошибки, или промахи, возникают чаще всего в результате нарушения основных требований к полевому опыту, недосмотра или небрежного и неумелого выполнения работ. Подобные ошибки ни при каких условиях не могут быть погашены, компенсированы, и остаётся только забраковать испорченные делянки, повторения или весь опыт.

Необходимо подчеркнуть, что для математической обработки и обоснованных выводов можно использовать лишь те результаты полевых опытов, которые не содержат грубых и систематических ошибок.

В зависимости от количества изучаемых факторов, охвата почвенно-климатических условий, длительности и места проведения полевые опыты подразделяют на несколько видов: однофакторные и многофакторные, единичные и массовые, краткосрочные, многолетние и длительные, эксперименты, заложенные на специальных опытных полях и в производственных условиях.

Если в опыте изучается один простой или сложный количественный фактор в нескольких градациях (поливная норма, дозы удобрений и т.д.) или сравнивается действие ряда качественных факторов (разные способы полива, культуры и т.д.), то такой эксперимент называют простым, или однофакторным.

Опыты, в которых одновременно изучается действие и устанавливается характер и величина взаимодействия двух и более факторов, называют многофакторными. Взаимодействие факторов – это дополнительная прибавка (или снижение) урожая, которая получается при совместном применении двух или более факторов.

По характеру различают положительное взаимодействие, когда прибавка от совместного применения факторов больше, и отрицательное, когда она меньше арифметической суммы прибавок от их раздельного применения.. Например, если от полива получена прибавка урожая зерна пшеницы 10 ц на 1 га, от удобрения – 5 ц на 1 га, а от совместного применения полива и удобрения – 25 ц на 1 га, то дополнительный положительный эффект равен 25 – (10 +5) = 10 ц на 1 га. Другой пример: от NРК получена прибавка урожая картофеля 12 т на 1 га, от навоза 11 т на 1 га, а от совместного применения NРК и навоза – 18 т на 1 га. Эффект взаимодействия равен 18 – (12 + 11) = – 5 на 1 га. Это отрицательное взаимодействие, которое наблюдается при определённых сочетаниях факторов, действующих, как правило, в одном направлении.

Многофакторный эксперимент по полной факториальной схеме, в котором изучается два фактора в двух градациях (2 х 2 = 4), должен иметь четыре варианта.

При исключении из этого опыта любого второстепенного, по мнению исследователя, варианта схема становится неполной, нефакториальной. Таким образом, принципиальной особенностью многофакторных экспериментов является постановка их по полным факториальным схемам.

Опыты называют единичными*,* если их закладывают в отдельных пунктах, независимых друг от друга, по различным схемам. Если полевые опыты одинакового содержания проводят одновременно по согласованным схемам и методикам в различных почвенно-климатических и хозяйственных условиях, в масштабе страны, области или района, то их называют массовыми или географическими.

По длительности проведения полевые опыты разделяют на краткосрочные, многолетние и длительные.

К краткосрочным относят опыты продолжительностью от 3 до 10 лет. Они могут быть нестационарными и стационарными. Первые закладывают ежегодно по неизменной схеме с одной и той же культурой на новых участках и повторяют во времени обычно 3 – 4 года. Этого периода считается достаточно для учёта влияния условий погоды на эффективность какого-либо приёма. Вторые закладывают на стационарных участках и проводят 4 – 10 лет.

К многолетним относят однофакторные и многофакторные стационарные полевые опыты продолжительностью 10 – 50, к длительным – более 50 лет. Основная задача многолетних и длительных стационарных экспериментов – изучение действия, взаимодействия и последействия систематически осуществляемых мелиоративных и агротехнических приёмов или комплексов их на плодородие почвы и качество продукции.

Самый длительный многофакторный опыт в России был заложен в 1912 г. в Тимирязевской (ранее Петровской) академии. Здесь на фоне полной факториальной схемы с удобрениями до сих пор изучается действие севооборота, бессменных культур, «вечного пара» и периодического известкования на плодородие почвы. По количеству изучаемых в одном эксперименте факторов, объёму и глубине проводимых исследований, их агрономическому значению и результативности этот опыт является уникальным не только в нашей стране, но и в мировой практике опытного дела.

Из зарубежных длительных стационаров следует отметить всемирно известные опыты Ротамстедской опытной станции в Англии с удобрениями бессменной пшеницы, ячменя и многолетних трав, заложенные между 1843 и 1855 г. Более 100 лет (с 1875 г.) ведётся опыт с удобрениями в Гриньоне (Франция) в севообороте озимая пшеница – сахарная свёкла. Продуктивность бессменной кукурузы и при возделывании её в 2 – 3-польных севооборотах более 100 лет (с 1876 г.) изучается в опыте Иллинойского университета (США). С 1878 г. продолжается опыт с бессменной рожью в Галле (Германия). Около 100 лет ведутся опыты по эффективности навоза и NРК в Дании, Германии и Голландии; более 80 лет в Японии изучается действие систематического применения NРК, компостов и зелёных удобрений на урожай риса.

По месту проведения подразделяют полевые опыты, заложенные на специально организованных и приспособленных для этих целей участках или опытных полях, и полевые опыты, проведённые в производственной обстановке на полях хозяйственных севооборотов.

Часто полевой опыт в производственной обстановке, различные производственные испытания, например, новых сортов или с/х машин неправильно называют производственным опытом. Как известно, производственный сельскохозяйственный опыт – это комплексное, научно поставленное исследование, которое проводится непосредственно в производственных условиях и отвечает конкретным задачам самого материального производства, его постоянного развития и совершенствования*.* Из определения следует, что цели производственного эксперимента значительно шире, чем любого вида полевого опыта. В его задачу входит изучение агротехнической и экономической эффективности системы агрономических и организационно-хозяйственных мероприятий, а не отдельных приёмов или элементов этой системы. Поэтому экспериментирование проводится большими производственными единицами – бригадами, хозяйствами или группой хозяйств.

Под методикой полевого опыта подразумевают совокупность слагающих её элементов: число вариантов, площадь делянок, их форму и направление, повторность, систему размещения повторений, делянок и вариантов на территории, метод учёта урожая и организацию опыта во времени.

Число вариантов в схеме любого опыта – обычно заранее заданная величина, которая определяется его содержанием и задачами. Число вариантов не может оказать влияния на типичность опыта, но может сказаться на его ошибке.

Точность полевого эксперимента и надёжность средних по вариантам в большой степени определяется повторностью опыта на территории и во времени.

Повторностью опыта на территории называют число одноименных делянок каждого варианта, а повторностью опыта во времени – число лет испытаний.

Результаты полевого эксперимента сильно зависят от метеорологических условий года. Поэтому в большинстве случаев для получения надёжных результатов наряду с повторностью на территории необходимо повторять полевые опыты во времени. Это не только повышает достоверность выводов, но и даёт возможность получить ценную информацию об эффективности изучаемых приёмов в отдельные годы – сухие, нормальные, влажные и т.п. Кроме того, многие приёмы орошаемого земледелия имеют длительное последействие, для учёта которых есть необходимость в повторении опыта во времени.

Полевые опыты обычно располагают на площади земельного участка методом организованных повторений. Суть его заключается в том, что делянки с полным набором всех вариантов схемы объединяют территориально в компактную группу, составляя определённым образом организованное повторение, которое занимает часть площади участка. Организованное повторение – часть площади опытного участка, включающая полный набор вариантов схемы опыта*.* В настоящее время большинство опытов ставят методом организованных повторений, так как выделить под опыт земельный участок, где не имелось бы более или менее резких различий между отдельными частями его, очень трудно.

Опыты могут размещаться и без территориального объединения вариантов в компактные группы – повторения, а полностью случайно. Такое размещение называют методом неорганизованных повторений или полной рендомизацией. Оно используется в редких случаях, в небольших опытах, которые закладывают на хорошо выровненных земельных участках.

Применяют два способа размещения организованных повторений: сплошное, когда все повторения объединены территориально, иразбросанное, когда повторения по одному или нескольку расположены в разных частях поля или даже в различных полях и опытный участок не имеет одной общей границы. Ко второму способу чаще всего прибегают вынужденно при отсутствии в одном месте земельного участка, где можно было бы разместить все повторения в непосредственной близости друг от друга. Однако повторения иногда разбрасывают умышленно, например, в опытах по изучению эрозии почвы, оценке новых приёмов или сортов в разных почвенных условиях.

Полевой опыт ставят на делянках, имеющих определённый размер и форму. Размер опытной делянки для различных видов полевого опыта в каждом конкретном случае будет меняться в зависимости от назначения и задачи опыта, культуры, пестроты почвенного покрова, агротехники и от того, какими орудиями и машинами предполагается пользоваться и возможна ли одновременная обработка всех делянок. Целесообразно проектировать делянки, допускающие проведение всех полевых работ с максимальной механизацией, включая уборку урожая.

В практике опытного дела в нашей стране наиболее широко используются делянки размером 50 – 200 м2, а на первоначальных этапах исследовательской работы 10 – 50 м2. Делянки менее 10 м2 обычно применяют в так называемых микрополевых опытах, например при селекции растений, когда важно экономить посевной материал.

При установлении размера делянки следует учитывать особенности агротехники растений: ширину междурядий, густоту стояния. Для пропашных культур минимальный размер делянки должен быть достаточным, чтобы исключить влияние изменчивости отдельных растений на точность опыта. В литературе чаще всего указывается как минимум 80 – 100 растений; для картофеля достаточно 40 – 50 и для кукурузы 60 учётных растений на делянке.

Достоверность опыта во многом зависит от направления делянок, т.е. от ориентации их на опытном участке. Необходимо располагать опытные участки длинной стороной в том же направлении, в каком сильнее всего изменяется плодородие почвы.

Известно, что наиболее сильно плодородие почвы и другие условия выращивания растений меняются вдоль склона. Поэтому при расположении опыта на склоне направление длинных сторон делянок надо ориентировать вдоль, а не поперёк склона. По такому же принципу закладывают опыт на полях с полезащитными лесными полосами: делянки располагают длинной стороной перпендикулярно к лесной полосе.

Установлено, что длинные узкие делянки полнее охватывают пестроту земельного участка и обеспечивают лучшую сравнимость вариантов опыта.

Эффект от удлинения наиболее сильно проявляется при отношении сторон в пределах 1:10 – 1:15. Дальнейшее удлинение не даёт существенных положительных результатов.

Существует три основные группы методов размещения вариантов по делянкам опытного участка: стандартные, систематические и рендомизированные (случайные).

Стандартные методы характеризуются более частым, обычно через 1 – 2 опытных варианта, расположением контроля, стандарта. Систематические методы предусматривают неизменный порядок расположения вариантов в каждом повторении. При случайных методах порядок вариантов определяется путём рендомизации, т.е. размещения их внутри каждого повторения случайно по жребию, когда каждый вариант имеет равную вероятность попасть на любую делянку, тогда как при систематическом такая возможность исключена.

Систематическое размещение вариантов – это такое расположение опыта, когда порядок следования вариантов в каждом повторении подчиняется определённой системе. Имеется много способов размещения вариантов по этому методу.

Техника рендомизации*.* Наиболее простой способ рендомизации заключается в следующем. Варианты нумеруют или обозначают буквами, и эти обозначения пишут на одинаковых карточках. Затем эти карточки тщательно перемешивают, после чего вынимают по одной. Варианты в повторении размещают на делянках в последовательности, определённой жребием. Для каждого повторения проводится своя рендомизация.

В настоящее время для рендомизации используется более современный способ, а именно таблица случайных чисел, которая является техническим пособием при планировании случайной выборки в различных экспериментальных работах.

Метод неорганизованных повторений (полная рендомизация). Простейшим из современных методов размещения полевого опыта на территории является неограниченная, полная рендомизация сопутствующих условий, когда варианты по делянкам опытного участка распределяются совершенно случайно. Если, например, планируется заложить опыт с тремя вариантами в 4-х повторностях, то выделенный земельный участок разбивают на 12 делянок (3 х 4 = 12) и по таблице случайных чисел размещают варианты по делянкам так, чтобы каждый вариант занял по 4 делянки.

Метод неорганизованных повторений, т.е. неограниченная рендомизация условий эксперимента, в ряде случаев эффективен, например, при небольшом числе изучаемых вариантов (2 – 4), когда есть основания не ставить под контроль территориальное закономерное варьирование плодородия почвы.

Метод рендомизированных повторений*.* Это наиболее распространённый в мировой практике опытного дела метод размещения вариантов по делянкам полевого опыта. В каждом повторении варианты распределяются по делянкам в случайном порядке. Важно, чтобы внутри каждого повторения почва была по возможности более однородной, а форма повторения приближалась к квадрату. В этом случае при любом пространственном расположении делянок они будут лучше сравнимы между собой.

В зависимости от технических условий проведения опыта повторения подразделяют на делянки удлинённой, прямоугольной или квадратной формы. Делянки располагают в 1, 2 или много рядов (ярусов). В ряде случаев повторение может иметь ступенчатую форму.

Чаще всего повторения располагают на поле компактно в один, два и больше ярусов. Однако, когда земельный участок недостаточно выровнен, повторения можно разбросать, рассеять по полю поодиночке или группами. Число изучаемых вариантов в методе случайных повторений зависит от выравненности земельного участка и размера опытных делянок.

Латинский квадрат и прямоугольник. Размещение опытных делянок этим методом позволяет устранить влияние изменения плодородия почвы опытного участка по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

Метод расщеплённых делянок. Используется преимущественно для закладки многофакторных опытов, когда в отношении какого-либо фактора требуется получить точную информацию, а в отношении других в большой точности нет необходимости.

Смешивание – такой способ размещения вариантов, при котором в каждом повторении все комбинации вариантов подразделяют на две или более групп (блоков) так, чтобы разности между группами составляли взаимодействия высшего порядка, представляющие меньший интерес, чем главные эффекты и взаимодействия между двумя факторами.

**9.1 Проведение исследований в условиях орошения**

Особенностью постановки полевых опытов в условиях орошения является необходимость учёта суммарного водопотребления по вариантам опыта, т.е. общего расхода воды на транспирацию и испарение сельскохозяйственными растениями и почвой за период вегетации. Располагая этими данными можно оценить эффективность изучаемых приёмов не только по величине и качеству продукции, но и по использованию поливной воды.

В результате жизнедеятельности растения потребляют из почвы воду вместе с питательными веществами. Поглощённая вода испаряется с поверхности листьев. Этот процесс называется транспирацией. Одновременно с транспирацией вода испаряется с поверхности почвы. Количество почвенной влаги, израсходованной за период вегетации на транспирацию растений и испарение почвой, называется суммарным водопотреблением или эвапотранспирацией*.*

Величина водопотребления зависит от климатических условий, количества тепловой энергии, поступающей на поверхность, влажности почвы, вида и урожайности возделываемой культуры. Водопотребление сельскохозяйственных культур увеличивается с повышением порога предполивной влажности или при непрерывном снабжении растений водой. Однако в связи с ростом урожая расход воды на его единицу уменьшается. Практике орошаемого земледелия известно достаточно большое количество методов установления сроков поливов сельскохозяйственных культур. Условно их можно разделить на две основные группы: основанные на непосредственных наблюдениях за состоянием растений и влажностью почвы и на различных эмпирических способах расчёта суммарного водопотребления.

Методы первой группы не нашли широкого практического применения, поскольку достаточно трудоёмки и несут в себе существенную погрешность.

До настоящего времени для определения суммарного водопотребления, а, следовательно, и сроков поливов, нет общепринятой универсальной методики расчёта. В различных странах и различных регионах нашей страны используется множество локальных расчётных методов, отличающихся по обоснованности, точности и т.д.

В основе биоклиматического метода С.М. Алпатьева лежит зависимость водопотребления от дефицита влажности воздуха и биологической особенности сельскохозяйственных культур:

Е = К∑d,

Е – водопотребление, мм; ∑d – сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, мб; К – биологический коэффициент, имеющий различные значения для отдельных культур и разных периодов вегетации, мм/мб.

Значение биологического коэффициента получают по данным исследования водопотребления культур при орошении с оптимальным увлажнением в различных районах:

К = Еп / ∑ dn,

Еп – водопотребление за рассматриваемый промежуток времени, найденное экспериментальным путём, мм; ∑ dn – сумма дефицитов влажности воздуха за рассматриваемый промежуток времени, мб;

Еп = ∆W + m + μР + В,

∆W – влага, используемая из метрового слоя почвы, мм; m – поливная норма, мм; μР – используемые осадки, мм; В – используемая влага из слоёв почвы глубже расчётного слоя, мм.

Из зарубежных методов определения эвапотранспирации наиболее распространены расчётные модели Х.Л. Пенмана, Л. Тюрка и Х. Блейни – В.Д. Криддла.

Коэффициент водопотребления – величина, тесно связанная с суммарным водопотреблением – количество воды, которое расходуется культурой на создание единицы основной продукции (м3/т) – чем выше урожай, тем меньше затраты воды на единицу урожая.

При экономической оценке эффективности орошения следует иметь в виду, что урожаи на неполивных делянках, окружённых поливными, в результате улучшения микроклимата бывают, как правило, значительно выше, чем на больших богарных участках.