Международный независимый эколого-политологический университет

А Г Р О Э К О Л О Г И Я

Савич В.И.

Краткое изложение лекций по курсу «Агроэколоия»

**1. Закономерности устойчивости почв к деградации под влиянием**

**сельскохозяйственного использования**

Источники загрязнения экосистем и факторы их деградации, связанные с

ведением сельскохозяйственного производства

По Райкину Э.Дж., агроэкосистемы включают экологические, экономические и социальные компоненты. Следует выделять влияние с/х производства на экологическое состояние компонентов биогеоценозов и влияние антропогенного воздействия на сельскохозяйственное производство и биопродуктивность земель. Сельское хозяйство является могучим фактором воздействия человека на природную среду, формируются агрономические экосистемы. Человек постоянно воздействует на них с помощью мелиорации, удобрения, агротехники, применения химических средств защиты растений, введения в культуру новых высокопродуктивных сортов и т.д. Познав законы природы, используя современные науки: мелиорацию, почвоведение, агрохимию, земледелие, селекцию, генетику и др. - человек сознательно воздействует на механизмы и процессы, протекающие в биосфере. При разумном, научно-обоснованном подходе продуктивность агрономических экосистем повышается, сохраняется и улучшается биосфера (Минеев В.Г.).

Однако, за весь период сельскохозяйственной деятельности в мире потеряно 2 млрд. га земель, что значительно превышает существующую площадь пашни в 1,5 мдрд. га. Современные, практически необратимые потери продуктивных земель в 30 раз выше среднеисторических и в 2,5 раза выше, чем за последние 300 лет (Почвенно-экологический мониторинг, 1994). По современным оценкам 1.2 млрд. га сельскохозяйственных угодий находится в состоянии деградации. Согласно данным ФАО, общие потери с/х земель от деградации составляют 6,7 млн. га ежегодно. Площадь лесов в мире ежегодно сокращается на 18 млн. га.

Современная интенсивная технология возделывания сельскохозяйственных культур достигла предела в экологическом, энергетическом и продукционном аспектах. Дальнейшая индустриализация земледелия влечет за собой резкое ухудшение окружающей среды и подавление механизмов ее саморегулирования, экспоненциальный рост затрат невосполнимой энергии на каждую дополнительную единицу продукции (Гордеев А.М.). Академик Соколов Б.С. считает, что «человек вплотную подошел к гибельной ловушке, созданной им же самим. Экологическая катастрофа стала большей реальностью, чем ядерная война. Это должно стать главным мотивом нового мирового мышления. Академик Моисеев Н.Н. предупреждает, что «экологический кризис грядет неумолимо – он уже на пороге. Конечно, законы самоорганизации срабатывают и сами по себе, но это будет связано с ожесточенной борьбой за ресурсы, за место под Солнцем, с кровью и гибелью множества людей и даже целых цивилизаций».

Тревожная ситуация нашего конфликта с природой существовала давно. Энгельс Ф. отмечал: «На каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы, отнюдь, не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо, находящийся вне природы, - что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри нее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять». Однако, человечество пока не нашло приемлемых решений данной проблемы и не скорректировало свое отношение с природой для обеспечения жизни следующих поколений.

Деградация агрофитоценозов и ухудшение экологической ситуации при ведении сельскохозяйственного производства, в первую очередь, обусловлены распашкой территории выше допустимых пределов, неграмотным осушением и орошением, избыточным применением удобрений, мелиорантов, средств защиты растений, биологически активных продуктов, разрушением почв под влиянием механических обработок, поступлением в почву отходов сельскохозяйственного производства и сельских поселений, нефтепродуктов и отходов переработки сельскохозяйственной продукции. При ведении сельскохозяйственного производства отмечаются нарушения почв, вод, приземного слоя воздуха, растительного покрова, биоты, ландшафта. Происходит изменение свойств, процессов и режимов, трофических цепей, саморазвития и саморегулирования систем и подсистем, связанных с изменением аккумуляции, трансформации и миграции вещества, энергии и информации. Ниже приведены примеры негативного влияния на экологическое состояние агрофитоценозов отдельных факторов, связанных с сельскохозяйственным использованием почв.

*Загрязнение почв тяжелыми металлами*

В агрофитоценозы мышьяк поступает с ядохимикатами, с фосфорными удобрениями, с азотными удобрениями. Кадмий поступает в почву при орошении сточными водами, при внесении фосфорных удобрений, при сжигании топлива на ТЭЦ, с выбросами автотранспорта. Ртуть поступает в агрофитоценозы со сточными водами, с пестицидами. Селен поступает в почву, в основном, с органическими удобрениями и при орошении сточными водами. Фтор, в основном, поступает с фосфорными удобрениями, а свинец со сточными водами, с известковыми удобрениями, с фосфорными удобрениями, с выбросами автотранспорта (таблица 1 ),

Таблица 1

Сельскохозяйственные источники загрязнения почв тяжелыми металлами

Эле- :Орошение сточ- :Фосфатные :Известковые :Азотные :Органические: Пестициды

мент :ными водами :удобрения :удобрения :удобрения :удобрения :

As 2-26 2-1200 0,1-24 2,2-120 3-25 22-60

Cd 2-1500 0,1-170 0,04-0,1 0,05-8,5 0,3-0,8 -

Co 2-260 1-12 0,4-3,0 5,4-12 0,3-24 -

Cr 20-40000 66-245 10-15 3,2-19 5,2-55 -

Cu 50-3300 1-300 2-125 1-15 2-60 12-50

F 2-740 8500-38000 300 - 7 18-45

Hg 0,1-55 0,01-1,2 0,05 0,3-2,9 0,09-0,2 0,8-42

Mn 60-3900 40-2000 40-1200 - 30-550 -

Mo 1-40 0,1-60 0,1-15 1-7 0,05-3 -

Ni 16-5300 7-38 10-20 7-34 7,8-30 -

Pb 50-3000 7-225 20-1250 2-27 6,6-15 60

Se 2-9 0,5-25 0,08-0,1 - 2,4 -

Sn 40-700 3-19 0,5-4,0 1,4-16,0 3,8 -

Zn 700-40000 50-1450 10-450 1-42 15-250 1,3-25

*Факторы деградации агрофитоценозов под влиянием механизации*

Важнейшие составляющие производственного цикла в сельском хозяйстве – это вспашка, посев, обработка, уборка и переработка сельскохозяйственной продукции. По Левину А.Б. и Мурусидзе Д.Н., при использовании механизации возникают, в основном, следующие неблагоприятные для агрофитоценозов последствия: 1. При использовании мобильных энергетических средств – химическое, механическое и акустическое загрязнение атмосферы; загрязнение окружающей среды жидкими нефтепродуктами; уплотняющее и разрушающее действие на почву в результате давления, динамического воздействия и вибрации. 2. При обработке почвы – развитие водной, ветровой и технической эрозии; образование плужной подошвы; увеличение тягового усилия, в результате уплотнения почвы. 3. При внесении удобрений, мелиорантов и средств защиты растений – загрязнение воды и почвы химическими веществами и болезнетворными организмами; отрицательное воздействие пестицидов на экологические системы. 4. При возделывании и уборке корне- и клубнеплодов – развитие эрозии, уплотнение плодородного слоя почвы, вынос земли с поля с продукцией; повреждение клубней и связанные с этим потери с/х продукции при хранении. 5. При уборке зерновых и кормовых культур – улучшение условий питания для вредителей, в связи с потерей части продукции; потери зеленой массы при ее погрузке, дробление и травмирование зерна, гибель животных под машинами. 6. При сушке, очистке сортировке и хранении зерна и семян, при получении травяной муки возможны следующие негативные влияния на экологическую систему – загрязнение окружающей среды токсичными газами в процессе сушки, получение недостаточно чистого посевного материала и засорение посевов; повреждение зерна и потери продукции при хранении. 7. При эксплуатации машинотракторного парка отмечаются следующие негативные влияния на экологическое состояние агрофитоценозов – загрязнение окружающей среды металлопродукцией, нефтепродуктами, механическое нарушение почв. 8. При проведении мелиораций происходит уничтожение плодородного слоя почв, эрозия, переувлажнение и переосушение. 9. При механизации производственных процессов в животноводстве отмечается загрязнение и заражение окружающей среды навозом, загрязнение среды при промывке оборудования и корнеплодов для корма, загрязнение воздушного бассейна газами, образующимися в процессе жизнедеятельности животных и разложения навоза.

Значимость указанных негативных явлений иллюстрируют следующие факты: общие потери почвы с продукцией и на рабочих органах с/х машин достигают 16%, в дождливую погоду отчуждается с поля до 4 т/га почв. Согласно данным Рабочева И.С., ежегодный суммарный унос почвы с поля составляет по России 1,5 млрд. тонн. Оптимальная плотность почвы составляет 1,0-1,2 г/см3, а при уплотнении за счет сельскохозяйственной техники возрастает у суглинистых почв на 0,1-0,3 г/см3. По данным Рабочего И.С., допустимые нагрузки на почву при летних и осенних работах не должны превышать 0,4-0,6 кг/см2, при влажности не более 60% от ПВ – 1,0-1,5 кг/см2. Фактическое же давление колесных тракторов составляет 0,85-1,65 кг/см2, гусеничных – 0,6-0,8; прицепов – 3,0-4,0; зерноуборочных комбайнов – 1,8-2,4 кг/см2. Ежегодные потери от уплотнения почвы приводят к снижению урожая зерновых на 20%, картофеля на 40-50%. В США ежегодные потери от уплотнения почвы оцениваются в 1,2 млрд. долларов.

Уплотнение почв приводит к значительному увеличению ее удельного сопротивления, определяющего производительность труда, расход топлива и смазочных материалов. По данным Курочкина К.И., воздействие на почву гусеничным трактором К-700 приводит к увеличению удельного сопротивления почв на 16-25%, а автомобильным транспортным агрегатом (2-3 прицепа) на 72-90%. Считается, что в СНГ перерасход топлива, за счет увеличения удельного сопротивления почв, достигает 1 млн. т/год.

Сельскохозяйственный сектор потребляет до 40% от общего потребления нефтепродуктов. Отработанные газы представляют значительную экологическую опасность. Основной вклад в экологический ущерб от сжигания топлива у карбюраторных двигателей внутреннего сгорания вносит свинец (96%). Экологический ущерб от сжигания топлива в дизельных двигателей внутреннего сгорания обусловлен сажей, бенз(а)пиреном, оксидами азота (Боева, Мосина Л.В.).

*Влияние на состояние экосистем животноводческих комплексов*

Животноводческие комплексы становятся мощным фактором воздействия на окружающую среду в результате накопления в них огромного количества бесподстилочного навоза и навозных стоков. Микробное и общее загрязнение в районе расположения таких комплексов в 8-10 раз превышает естественный фон. Содержание нитратов в кормах доходит до 8000мг/кг; в водах - до 100 мг/л. При этом, годовой выход навоза на многих фермах промышленного типа составляет, в среднем, 25,5 тыс. тонн на 1 тысячу голов. Из одного комплекса промышленного типа по выращиванию и откорму свиней с производительностью 150 тыс. голов суточный выход экскрементов и сточных вод составляет 2000-4000 м3.

Проблема состоит в утилизации такого огромного количества навоза и воды. Перевозить их на большие расстояния невыгодно. Осаждение твердой фракции и очистка вод для сброса связаны с большими экономическими затратами. Избыточное количество навоза, внесенного в почву, приводит не только к избытку в почве азота, частично фосфора и калия, но значительно ухудшает физические свойства, уменьшает содержание в ней кислорода. Одновременно с экскрементами в почву попадают в токсичных концентрациях и другие соединения – NaCl из корма свиней, биостимуляторы, каустическая сода для очистки помещений, средства борьбы с вредителями, мышьяк и медь, добавляемые в корм птицам и т.д. При этом указанные соединения в значительном количестве мигрируют в грунтовые воды и реки.

При стойловом содержании скота используют следующие технологические схемы утилизации навоза: многоступенчатую очистку, использование стоков для производства торфокомпостных смесей, очистку стоков с помощью прудовых накопителей и навозохранилищ, самоочищение и утилизацию в естественных водоемах, анаэробную переработку на газ или для удаления запаха и инактивации патогенной микрофлоры и семян сорных растений.

*Нарушение экологической ситуации в агрофитоценозах под влиянием*

*селитебных территорий*

Население России проживает в 1087 городах и 2022 поселках городского типа. Сельское население составляет 39,9 млн. человек (27% от общего числа жителей). Из общего числа негативных экологических явлений в селах и прилегающих к ним территориях приходится на строительную деятельность и личное подсобное хозяйство 20%, хозяйственно-бытовую среду – 19,5%, животноводство – 15%, транспорт, сельскохозяйственную технику и местную промышленность – 14%, земледельческую деятельность – 11%, рекреацию – 0,5% (Мурусаева С.А.). Негативные экологические явления в селах и прилегающих к ним территориях, по данным указанного автора, в порядке убывания доли их в формировании экологического неблагополучия распределены в следующем порядке: загрязнение хозяйственно-бытовыми отходами и навозом пастбищ, лесов, водоемов, оврагов, понижений; нарушение земель карьерами, транспортом; истощение пастбищ; загрязнение территории сел навозом и мусором; выпас скота в лесу; неорганизованные свалки строительного мусора; неупорядоченное движение техники; неснятие плодородного слоя при строительных работах; растекание навозной жижи; химизация; загрязнение почвы нефтепродуктами; навоз ферм на свалках мусора; неприятные запахи различных производств; отсутствие или ненадежная работа очистных сооружений; смыв нечистот в овраги и балки; опахивание сел и водоемов; затопление лугов и пастбищ; бесконтрольное строительство плотин, низкий уровень благоустройства сел; летние лагеря вблизи водоемов; разливы грязных стоков по селу; засорение отдыхающими мест отдыха и развлечений; бесконтрольный сбор грибов и ягод; нерегулируемые прогоны скота по селу; выход хоздворов усадеб к водоемам; отсутствие водоохранных насаждений; трупы павших животных у ферм; распашка низкопродуктивных угодий; истощение водоемов в результате поливов; стоки излишков поливной воды в водоемы; распашка водосборных территорий; опахивание лесных массивов и лесополос; изрезанность территории линиями электропередач; нарушение правил хранения минеральных удобрений и ядохимикатов; нарушение правил водозабора; водопой скота непосредственно из водоемов; вырубка леса у сел; нарушение стока поверхностных вод. Согласно экспертной оценке автора, более 90% названных негативных экологических последствий – есть результат производственной деятельности. Из низ 55% связаны непосредственно с загрязнением окружающей среды; 45% - с истощением, деградацией и нерациональным использованием природных ресурсов.

Более подробно факторы деградации сельскохозяйственных экосистем изложены в соответствующих разделах работы.

*Агроэкологические проблемы и противоречия при ведении сельско-*

*хозяйственного производства*

Следует выделить, в первую очередь, следующие проблемы экологического характера, возникающие при сельскохозяйственном использовании земель: потеря плодородия почв, загрязнение водной и воздушной среды; ухудшение качества с/х продукции и ее загрязнение токсикантами; негативные изменения поверхности почв и ландшафта, изменение микроклимата, потоков вещества и энергии, уменьшение разнообразия видов растительных и животных организмов; нарушение трофических связей в агрофитоценозе и биогеоценозе; нарушение процессов саморегулирования и саморазвития в экосистеме; нарушение генетического кода в живых организмах экосистемы. Все вышеизложенное приводит и к негативному влиянию на здоровье человека, его психическое состояние, работоспособность, продолжительность жизни. В конечном итоге, нарушения экологического характера приводят к экологическим потерям, связанным с меньшей продуктивностью угодий, с дополнительными затратами на сохранение сельскохозяйственной продукции, с дополнительными затратами на сохранение плодородия почв, на их обработку; с меньшей экономической эффективностью вкладываемых средств; с дополнительными затратами на очистку воздуха, воды; на получение добавочного количества кислорода; с затратами по сохранению здоровья населения, связанными с меньшей работоспособностью, с меньшей продолжительностью жизни и т.д.; с затратами, обусловленными преждевременным износом зданий, технических средств, в связи с коррозией их под действием загрязненного воздуха и вод.

Большинство экологических проблем носит интернациональный характер. Это относится и к проблемам агроэкологии. Миграция удобрений, мелиорантов, тяжелых металлов, ядохимикатов в грунтовые воды, в реки оказывает влияние на большие регионы. Химический и биохимический состав растительной продукции при транспортировке ее в различные регионы мира оказывает влияние на экологическую ситуацию и в районах потребления. Миграция в воздушную среду из сельскохозяйственных угодий углекислого газа, недоокисленных соединений азота, сероводорода, аммиака, метана, ацетилена не знает границ. Изменение, в результате распашки земель, образования кислорода, микроклимата, развитие водной и ветровой эрозии, осушение и орошение сопровождаются не только существенными изменениями биопродуктивности в одном регионе, но и имеют глобальные последствия.

Сущность экологических противоречий в сельскохозяйственном производстве состоит в следующем: 1) массовое вовлечение в активный сельскохозяйственный оборот земель в сухостепной и полупустынной зонах привело к обсыханию территорий, развитию загрязнения, дегумификации, антропогенной аридизации; 2) расширение посевов зерновых, в связи с большой долей пара, привело к усилению нагрузки на пастбища, их дегрессии на больших площадях; 3) искусственное смещение границы рискованного земледелия на юг подорвало местное животноводство, усилило контрастность почвенного покрова; 4) нерациональная по масштабам распашка солонцовых, засоленных, различных литогенных и других неблагоприятных для земледелия почв привела к их, частично необратимым, изменениям; 5) экстенсивное орошение и осушение в погоне за «освоением» площадей способствовало из заболачиванию, засолению, осолонцеванию; 6) создание крупных животноводческих комплексов усугубило проблему утилизации отходов животноводства; в ряде случаев навоз превратился из удобрения в источник загрязнения (Кирюшин В.И.); 7) в связи с увеличением степени химизации сельскохозяйственного производства и отсутствием надежных методов расчета взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой усилилось скрытое отрицательное действие удобрений и мелиорантов, средств защиты растений на воду, воздух, почву, растения, биоту и животный мир; 8) при усилении интенсификации производства в большей степени стали проявляться негативные последствия отсутствия должной научной базы по расчету равновесий в системе почва – растение - среда, по моделированию и прогнозу эволюции почв при их сельскохозяйственном использовании; 9) в значительной степени агроэкологические противоречия в сельскохозяйственном производстве обусловлены отсутствием экономических рычагов, направленных на повышение плодородия почв, сохранение экологического равновесия, улучшение качества сельскохозяйственной продукции.

Экологические издержки экстенсивного земледелия связаны с несовершенством структуры посевных площадей, в нерациональных размещением культур, с шаблонной организацией территорий и севооборотов; с технологической отсталостью, с разрушающим воздействием на почвы тяжелой техники, с неграмотным применением удобрений и ядохимикатов.

**2. Экологические функции почвы, экологическое значение**

**почвенных процессов и режимов**

Экологически функции почв

Экологические функции почв обусловлены их свойствами, процессами и режимами, взаимосвязью почв с другими компонентами экологической системы. При этом специфика проявления экологических функций почв, в значительной степени обусловлена тем, что почва является биокосным телом, обменивающимся веществом, энергией и информацией с внешней средой. Биосфера Земли – открытая, сложная, многокомпонентная, саморегулирующаяся, связанная с Космосом система живого вещества и минеральных соединений, образующая внешнюю оболочку планеты. Биогеоценоз – это взаимообусловленный комплекс живых и косных компонентов, связанных между собой обменом вещества и энергии. Биогеоценоз относительно устойчив во времени и термодинамически открыт в отношении прироста и оттока вещества и энергии. Почва является составным компонентом биогеоценоза или для почв, используемых в сельскохозяйственном производстве – агрофитоценоза.

«Биокосные тела осуществляют связь между автотрофами (растениями) и гетеротрофами (животными, микроорганизмами). Они являются ареной биохимических реакций. Для биокосных тел, в отличие от геологических, характерно широкое распространение изоморфных замещений в кристаллической решетке минералов, формирование химических «смесей», взаимодействие которых в смеси с другими компонентами, резко отличается от реакции «чистых» компонентов смесей. Биокосные тела – санитары планеты, благоприятствующие жизни на планете» (Карпачевский Л.О., 1993).

Рассматривая функции почвы, как целостные, как работу всей почвы, следует учитывать, что разные почвенные фазы играют в осуществлении функции неодинаковую роль. Две основные функции почвы в биогеоценозе характерны для почвы, в первую очередь: экологическая и биогеохимическая. Эти группы функций можно разделить на ряд более конкретных функций (Карпачевский Л.О., 1993). Автор отмечает экологические функции почвы, как жизненного пространства, как механической опоры, как хранителя семян, как хранителя воды и питательных веществ, как депо ферментов. Почва представляет собой достаточно жесткую механическую буферную систему, препятствующую механическому повреждению корней, животных, обитающих в почве. К такой же защитной функции почвы следует отнести ее химическую буферность, буферность в отношении температуры и влажности. Почва дезактивирует ряд токсичных веществ, поступающих или даже образующихся в почве разными путями. В меньшей степени изучены такие показатели, как информационные функции почв, функции почв, как памяти биогеоценозов, как сигнала и пускового механизма для ряда сукцессий. Карпачевский Л.О. (1993) отмечает, что биогеохимические функции почв включают такие группы функций как аккумуляция органических и других соединений, трансформация веществ, движение веществ в почве, стимуляция и ингибирование растений и животных в почве, биогеоценозе.

У других исследователей принципы выделения экологических функций почв несколько отличаются. По Добровольскому Г.В. и Никитину Е.Д. (1990) выделяются следующие основные экологические функции почв: 1) обеспечение жизни на Земле, обусловленное плодородием почв; 2) регулирование всех потоков вещества в биосфере; 3) регулирование состава атмосферы и гидросферы; 4) накопление в поверхностной части коры выветривания, в почвенных органогенных горизонтах специфического органического вещества – гумуса и связанной с ним химической энергии; 5) защитная роль почвы по отношению к литосфере; 6) генерирование и сохранение биологического разнообразия. В соответствии с обобщением Розанова А.Б. и Розанова Б.Г., почва является полупроницаемой земной оболочкой, функционально аналогичной мембранам, способной избирательно отражать, поглощать и трансформировать энергетические и вещественные потоки между внутренними и внешними оболочками Земли. Она является регулирующим механизмом взаимодействия между биотой, литосферой, гидросферой и атмосферой в пределах биосферы планеты.

Главная функция почвы – это обеспечение жизни на Земле – обеспечение растений необходимыми факторами жизни. Эта глобальная функция почвы характеризуется понятием плодородия.

Вторая глобальная функция почвы – это обеспечение постоянного взаимодействия большого геологического и малого биологического круговорота веществ на земной поверхности. Она является регулятором в качестве биомембраны и в качестве аккумулятора биофилов.

Третья глобальная функция почвы – это регулирование состава атмосферы и гидросферы, что осуществляется, благодаря высокой пористости почв, ее емкости поглощения, насыщенности живыми организмами, селективности.

Четвертая функция почвы – это регулирование биосферных процессов, в частности, плотности и продуктивности организмов на поверхности суши и в мелководьях, поскольку почва обладает не только плодородием, но и лимитирующими факторами.

Пятая функция почвы – накопление на земной поверхности специфического активного органического вещества – гумуса – и связанной с ним химической энергии.

Шестая глобальная функция почвы – это ее защитная роль по отношению к литосфере. Почва планеты – это не только геомембрана, но одновременно и «кожа» планеты», защищающая литосферу от слишком сильного воздействия экзогенных факторов и от разрушения.

Рэуце К. и др. (1986) отмечает две наиболее важные экологические функции почвы. Эти функции состоят в непрерывном процессе фотосинтеза, накоплении, преобразовании и перераспределении солнечной энергии; в поддержании глобального круговорота химических элементов, особенно важных для биофизических и биохимических процессов. По мнению авторов, накопление, превращение, разложение и минерализация органического вещества, накопление и перераспределение энергии живыми организмами, селективная сорбция химических элементов и их концентрирование в почве и в воде – основные функции для систем организма почвы.

# Экологические значения свойств почв

Свойства почв определяют их сорбционную, миграционную и трансформирующую способность, протекторные функции. В первую очередь, это показатели рН, окислительно-восстановительного состояния, гранулометрический состав, сорбционная емкость по отношению к различным типам сорбции, фракционный состав соединений ионов в почве.

На территории России с севера на юг, в основном, распространены следующие зональные типы почв: тундровые, глеево-подзолистые, подзолистые, дерново-подзолистые, серые лесные, черноземы, каштановые, бурые полупустынные. Кислотность указанных почв меняется от рН=3,5-4,5 в подзолистых почвах, до рН=6,0-7,0 – в черноземах и до рН=7,0-7,2 – в верхних горизонтах (рН=8,2 – в нижних горизонтах) светло-каштановых и бурых полупустынных почв. В соответствии с рН, с севера на юг закономерно изменяется содержание гумуса и емкость поглощения почв.

При кислой реакции среды и избытке воды протекает кислый гидролиз и диспергирование минеральной и органической части почвы. Это приводит к накоплению в почвах более низкомолекулярных фульвокислот, по сравнению с гуминовыми кислотами (Сгк:Сфк = 0,5), в связи с чем в таких почвах накапливается меньше гумуса – 1-2%, что соответствует и меньшей емкости поглощения почвами катионов – 5-10 мг-экв/100 г. Такие свойства характерны для подзолистых почв. В черноземах при нейтральной реакции среды в групповом составе гумуса преобладают гуминовые кислоты (Сгк:Сфк = 2-2,5). Это соответствует большему накоплению гумуса (4-12%) и большей емкости поглощения почвами катионов (50-70 мг-экв/100 г почв). В более южных почвах при слабощелочной реакции среды и солонцеватости почв протекает щелочной гидролиз органической и минеральной части почв. В групповом составе гумуса вновь преобладающее место занимают фульвокислоты (Сгк:Сфк = 0,5-0,7). В сочетании с повышенной минерализацией органического вещества, обусловленной высокими температурами и аэрацией, это приводит к незначительному накоплению гумуса в почвах (1-2%). Это соответствует и малой емкости поглощения почвами катионов (5-10 мг-экв/100 г почв).

Следует отметить, что емкость поглощения катионов для песка равна 5 мг-экв/100 г, для глины – 40 мг-экв/100 г, каолинита – 5, монтмориллонита и вермикулита – 80-100, для гуминовых кислот – 500, для фульвокислот – 800 мг-экв/100 г. Таким образом, чем более тяжелого гранулометрического состава почвы, тем больше в них гумуса и чем больше в минералогическом составе почв минералов группы слюд, монтмориллонита, вермикулита, тем больше емкость поглощения почвами катионов. В первом приближении, аналогичная зависимость и для поглощения почвами анионов, для физического типа сорбции при поглощении молекул. При повышении рН среды часть базоидов почв (положительно заряженных сорбционных мест) переходит в ацидоиды (отрицательно заряженные). Это приводит к увеличению емкости поглощения почвами катионов. В то же время повышение рН сопровождается образованием гидроокисей, карбонатов и двух-, трехзамещенных фосфатов поливалентных металлов, что соответствует увеличению химической поглотительной способности почв, за счет осадкообразования.

К интразональным почвам, развивающимся в любых зонах, относятся болотные, пойменные и засоленные. С экологической точки зрения, болотные почвы характеризуются большой емкостью поглощения (до 200 мг-экв на 100 г в торфяном горизонте), восстановительными условиями и, в ряде случаев, наличием сероводородного геохимического барьера. Для пойменных почв характерно ежегодное их заливание речной водой и, в связи с этим, как выщелачивание элементов, содержащихся в почвах, так и накопление в почвах токсикантов, находящихся в речных водах. Среди засоленных почв выделяются солончаки, солонцы, солоди.

С экологической точки зрения, солончаки характеризуются возможностью накопления токсикантов в верхнем горизонте, высокой концентрацией солей и связанной с этим деградацией почвенно-растительного покрова. Солонцы характеризуются щелочной реакцией среды, высокой подвижностью органического вещества, наличием элювиально-иллювиального распределения элементов по почвенному профилю, очень большой плотностью и малой водопроницаемостью, что приводит к деградации почв. Солоди развиваются, как правило, в мезо- и микропонижениях и отличаются, с экологической точки зрения, кислой реакцией среды верхнего горизонта, элювиально-иллювиальным распределением элементов по почвенному профилю, развитием восстановительных условий.

Свойства почв, в конечном итоге, определяют трансформацию и миграцию в почве токсикантов, устойчивость почв к факторам их деградации. Однако, экологические функции свойств почв зависят от их взаимовлиянии. Так, например, согласно разработкам Мотузовой Г.В. (1992), буферность почв обусловлена иерархической организацией системы, гетерогенностью, полифункциональностью ее соединений и разнообразием реакций, в которых они участвуют. По мнению автора, усложнение системы соединений химических элементов в почвах, которое ведет к расширению перечня системообразующих процессов, обеспечивает усиление ее буферных свойств. С этой точки зрения, к увеличению буферности почв ведет дифференциация почвенного профиля, образование в нем различных геохимических барьеров, образование комплексных органоминеральных и органо-глинистых соединений, усложнение фракционного состава соединений ионов в почве.

Если доминирующей реакцией при поглощении загрязняющего вещества является ионный обмен, то мерой относительной устойчивости почв к загрязнению этим веществом, может служить коэффициент селективности этого элемента. При большем коэффициенте селективности почва наиболее устойчива к загрязнению им. Аналогично, большей буферностью обладает та почва, в которой обеспечены реальные условия для выпадения осадка с наименьшим произведением растворимости. Автор отмечает, что чем больше максимальное количество вещества может быть удержано почвой, тем прочнее связь вещества с почвой, тем больше устойчивость почв при загрязнении этим веществом. Таким образом, буферная способность почв по отношению к определенному типу сорбции зависит от селективности сорбционных мест (констант равновесия протекающих реакций) и от количества этих сорбционных мест (емкости поглощения почв по отдельным типам сорбции).

Свойства почв учитываются при прогнозе устойчивости почв к деградации и, в частности, опасности загрязнения почв, что иллюстрируется данными следующей таблицы.

Таблица 2

Опасность накопления в почве биологически активных элементов, которые

находятся в слабо подвижной форме (Рэуцке К., 1986)

Содержание : Удерживающая способность почв

гумуса :--------------------------------------------------------------------------------------------------

:пониженная (преобладает: средняя (иллит и :повышенная (монтморилло-

:каолинит, галлуазит) : смектит) :нит, аллофан и полуторные

: : :окислы)

низкое 1 2 3

среднее 2 3 4

высокое 3 4 5

\*) опасность загрязнения – 1 – очень слабая, 2 – слабая, 3 – средняя, 4 – сильная,

5 – очень сильная,

На основании свойств почв прогнозируется и подвижность элементов, возможность их миграции в грунтовые воды.

Таблица 3

Подвижность биологически активных элементов в глеевых и засоленно-оглеенных

почвах (с периодическим или постоянным восстановительным режимом)

(Рэуцке К., 1986)

Реакция почвы: Подвижность элементов

:-----------------------------------------------------------------------------------------------

:практически неподвижные: слабо подвижные : подвижные

рН < 5,5 S2, Mn4, V3-4, As3 Cu2, Zn, Pb2, Co2, Ni2, Cr2 Sr, Ba, Ag

pH = 5,6-7,6 S2, Ba, Pb, Mo Sr, Cu2, Zn2, Co2, Ni2, As3

pH = 7,6-9,5 S2, Ba, Pb2, Cu2, Zn2, Co, As3, Mo, Sr, Se Ni2, Ag

Ag

*Экологическое значение почвообразовательных процессов*

Различают почвенные и почвообразовательные процессы. К почвенным процессам относятся превращения в почвах фосфатов, соединений калия, азота, органических веществ, тяжелых металлов, пестицидов, нефтепродуктов и т.д. Среди почвообразовательных процессов выделяют: 1) процессы, связанные с трансформацией органической части почвы – торфонакопление и гумусообразование; 2) процессы, связанные с трансформацией минеральной части почвы – сиаллитизация и аллитизация; 30 процессы, связанные с трансформацией веществ и их перераспределением по почвенному профилю – оподзоливание, лессиваж, оглеение, засоление, солонцовый процесс, осолодение.

Оподзоливание связано с кислым гидролизом, разрушением и диспергированием минеральной части почв за счет кислых органических соединений и выщелачиванием продуктов разрушения в нижней части почвенного профиля и, частично, за пределы профиля, в связи с промывным типом водного режима. Лессиваж обусловлен механическим вымыванием илистой фракции почв из верхних горизонтов в нижние без ее разрушения. Оглеение обусловлено разрушением минеральной части почвы за счет восстановления ионов с переменной валентностью при анаэробных условиях и ее гидролизом при избытке воды. Оно характеризуется накоплением в почве восстановленных продуктов, низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала, повышенным содержанием в почвенном воздухе углекислого газа, метана, ацетилена, сероводорода; повышенным содержанием в почве подвижных соединений железа, алюминия, марганца, оглиниванием почв, увеличением их липкости и вязкости. Засоление почв характеризуется накоплением в верхнем горизонте почв водорастворимых солей (K, Na, Ca, Mg, Cl, NO3, HCO, CO2, SO4) более 0,25% (в солончаках – 1, 2, 3%, в зависимости от типа засоления). Засоление обусловлено выпотным типом водного режима при наличии неглубоко от поверхности засоленных вод или засоленных пород, а также аэральным привносом солей в почву, орошением почв солеными водами. Осолонцевание почв обусловлено увеличением доли в ППК ионов обменного натрия и, частично, магния при повышении температуры, уменьшении влажности, увеличении щелочности и засоленности вод. Оно сопровождается развитием щелочного гидролиза и диспергирования минеральной и органической части почвы и формированием элювиально-иллювиального профиля, при очень большой плотности почв (до 1,9 г/см3) и низкой водопроницаемости. При наличии таких условий в почвах застаивается вода, развиваются восстановительные условия с образованием повышенного количества в разлагающемся опаде низкомолекулярных кислот. Это приводит к смене в верхнем горизонте щелочного гидролиза минералов на кислый. Протекает процесс осолодения. При этом верхние горизонты почв с элювиально-иллювиальным профилем имеют рН от 6 до 4, а нижние – 8,2, как правило. при значительной гидроморфности почвенного профиля.

Почвообразовательные процессы определяют тенденцию поведения элементов и соединений в почвах и ландшафтах. В отличие от экологического влияния свойств почв, воздействие на процессы деградации почв почвообразовательных процессов более длительное и связано, в значительной степени, с саморазвитием уже начавшихся процессов. Пример влияния почвообразовательных процессов на поведение элементов в почвах приведен в следующей таблице.

Таблица 4

Главные типы почвообразовательных процессов и тенденция поведения в них

химических элементов

Процесс :Климатическая зона: Поведение элементов в верхнем слое

: :----------------------------------------------------------------

: : накопление : миграция

оподзоливание холодная северная Co, Cu, Mn, Ni, Ti, V, Zr B, Ba, Br, Cd, Cr, Li,

в горизонте В Mn, Rb, Se, Sr, V, Zn

аллитизация прохладная и уме- Co, Mn, V B, Ba, Br, Cu, I, Se, Sr

ренно гумидная в глеевом горизонте

сиаллитизация теплая умеренная и B, Ba, Cu, Mn, Se, Sr

сухая тропическая

латеритизация гумидная и тропи- S, Ba, Cu, Co, Cr, Ni, Sr,

ческая Ti, V

осолонцевание теплая с сухими B, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se,

сезонами Zn, V

гидроморфные интразональные B, Ba, Cu, Co, I, Mn, Mo, B, Br, Co, Cu, Mn, Ni,

образования почвы Se, Sr, V в А1 U, V

Помимо почвообразовательных, большое влияние на экологическое состояние биогеоценозов и агрофитоценозов оказывают также почвенные процессы такие, как окультуривание, развитие водной и ветровой эрозии. Орошение, осушение, загрязнение, зафосфачивание, подкисление, подщелачивание, уплотнение, выравнивание мезо- и микрорельефа, выпаханность, почвоутомление, подтопление, поднятие и опускание уровня грунтовых вод, химическая мелиорация, удобрение и истощение почв. Эти процессы связаны с уменьшением степени открытости почвенной термодинамической системы, гомогенизацией свойств почв в пределах почвенного профиля и структуры почвенного покрова, с уменьшением при с/х использовании степени разнообразия экологических ниш, растений, биоты; с искусственным смещением точки равновесия вновь образованных почв с существующими радиационными и гидротермическими условиями. Это приводит к перераспределению вещества и энергии в ландшафте, к изменению барьерной и протекторной функции почв.

### Экологическое значение почвенных режимов

Почвенные режимы – это закономерное изменение свойств почв и процессов во времени и в пространстве (по горизонтали и по вертикали). Выделяют водный, воздушный, тепловой, кислотно-основной, окислительно-восстановительный, солевой, питательный и т.д. режимы почв. Так как в режимы составной частью входят свойства и процессы почв, то они в наибольшей степени и определяют экологические функции почв. Для прогноза опасности деградации почв необходимо учитывать протекающие в почвах режимы. Наиболее часто учитывают водный режим почв (таблица).

Таблица 5

Относительная опасность загрязнения почв биологически активными,

подвижными элементами (Рэуце К., 1986)

Отношение осадков к : Гранулометрический состав почв

эватранспирации :------------------------------------------------------------------------------------

(коэффициент); : песчаный : глинистый : илистый :различный, с наличием

тип режима : : : :мерзлотного слоя

> 2 сильно промывной 1 2 3 3

2-1 преимущественно 2 3 4 4

промывной

1-0,5 непромывной 3 4 5 5

< 0,5 совсем непромыв- 4 5 5 -

ной

\*) опасность загрязнения: 1 – очень слабая, 2 – слабая, 3 – средняя, 4 – сильная, 5 – очень сильная.

По Высоцкому Г.Н. и Роде А.А. выделяются следующие типы водного режима:

1. Мерзлотный, характерный для областей вечной мерзлоты. Почва оттаивает на метры и десятки сантиметров. Ниже идет мерзлый водоупорный слой. В случае затруднения оттока влаги по мерзлотному слою идет заболачивание почвы.

2. Промывной – годовая сумма осадков выше испаряемости. Почвенно-грунтовая толща ежегодно подвергается сквозному промачиванию до грунтовых вод. Часть атмосферной влаги стекает с внутрипочвенным стоком.

3. Периодически промывной – атмосферная влага лишь в отдельные годы промачивает профиль почв до грунтовых вод.

4. Непромывной – атмосферные осадки промачивают почву до определенной глубины и не доходят до грунтовых вод в виде жидкости. Заметно преобладание испаряемости над суммой атмосферных осадков.

5. Деструктивно-выпотной – формируется в условиях близкого уровня грунтовых вод (верховодки), когда капиллярный подъем воды достигает почвенных горизонтов.

Выделяют также ирригационный тип водного режима, искусственно формируемый человеком при орошении и подтоплении территории, связанном с созданием водохранилищ.

Более экологичным является подход к характеристике водного режима на основании динамики влажности отдельных горизонтов (Карпачевский Л.О., 1993).

**3. Модели плодородия почв**

Влияние почв на другие компоненты экосистемы обусловлено, в значительной степени, свойствами почв, а при ведении сельскохозяйственного производства свойствами создаваемых человеком почв. Эти свойства для разных почвенно-климатических зон различны и характеризуются моделями плодородия почв. Модель плодородия почв – это оптимальное сочетание свойств процессов и режимов почв для получения максимального экономически оправданного урожая и наибольшего КПД использования в агрофитоценозе солнечной и антропогенно затраченной энергии при соблюдении экологической безопасности принятой системы земледелия и технологий. Модель плодородия предполагает максимальную устойчивость почв в данных условиях к деградации, надежность и долговечность функционирования при принятых потоках вещества и энергии.

При этом под свойствами почв понимаются статические показатели (рН, содержание подвижных форм фосфатов, калия и т.д.), характеризующие состояние почв. Процессы подразделяются на почвенные и почвообразовательные. Под ними понимаются изменения свойств почв под влиянием антропогенных и естественных воздействий. Почвенные процессы - это превращение в почвах вносимых в них азота, фосфора, калия, органических остатков, трансформация микроэлементов и тяжелых металлов и т.д. К почвообразовательным процессам относятся оподзоливание, оглеение, засоление, осолонцовывание, гумусонакопление, торфонакопление и т.д. Режимы почв – это закономерное изменение свойств и процессов во времени и в пространстве – весной, летом, осенью, с глубиной почвенного профиля, в пределах поля или структуры почвенного покрова. Выделяют водный, воздушный, тепловой, фосфатный, калийный, азотный, кислотно-основной, окислительно-восстановительный и т.д. режимы.

Для создания моделей плодородия почв необходимо оптимальное сочетание их свойств, процессов и режимов. В почве может быть достаточное количество усвояемых фосфатов весной, но недостаток их летом. Это приведет к плохому развитию растений. В почве может быть оптимальное значение рН в верхнем горизонте, но очень неблагоприятное для растений в слое 30-50 см, что не позволит получить планируемый урожай. В почвах должны идти благоприятные процессы превращения удобрений. Например, при внесении в кислые подзолистые почвы фосфатов кальция они превращаются в фосфаты железа и алюминия, доступность которых для растений очень мала. При внесении соединений железа в карбонатные почвы устранить хлороз, связанный с недостатком железа для растений, не удается, т.к. вносимое в почву железо выпадает в трудно растворимые осадки соединений железа и т.д.

Модели плодородия почв отличаются для разных типов почв, групп почв по гранулометрическому составу, гумусированности, эродированности, оглеенности и т.д., для отдельных групп растений, для различных регионов и определенного уровня ведения сельскохозяйственного производства. Создавая почву для получения планируемого урожая, необходимо предусматривать, во-первых, получение урожая приемлемого количества, во-вторых, экологическую целесообразность получения планируемого урожая и, в-третьих, соблюдение условия повышения плодородия почв и сохранения экологического равновесия. Очевидно неприемлемо внесение таких доз удобрений и средств защиты растений, которое приведет к получению продукции в избыточном количестве, загрязненной нитратами, кадмием, медью, цинком и т.д. В то же время неоправданно внесение удобрений и мелиорантов в таких дозах, которые приводят к значительному ухудшению свойств почв, падению их плодородия (например, при подкислении почв за счет внесения физиологически кислых удобрений типа (NH4)2SO4, при создании в ППК доли обменного калия более 5%, приводящей к диспергированию почв и резкому уменьшению водопроницаемости). При оценке стоимости земель, с учетом их плодородия, внесение таких доз будет неоправданно и с экономической точки зрения. Недопустимо внесение в почву таких доз удобрений и средств защиты растений, которые вызовут загрязнение вод нитратами, фосфатами, калием, ядохимикатами, в концентрациях выше установленных пределов допустимых. При использовании природоохранными организациями штрафных санкций внесение таких доз будет невыгодно и с экономической точки зрения.

Создание свойств о определенными свойствами должно быть выгодно экономически, должно оправдываться прибавкой сельскохозяйственной продукции. Например, на огородах в Московской области 4-8% гумуса, однако, создание такой степени гумусированности на полях не приведет к адекватному повышению урожайности, и поэтому даже не планируется.

Модели плодородия отличаются для почв различных генетических типов и почв с резко отличающимися свойствами. Экономически и экологически нецелесообразно создавать на сероземах такую же почву, как и чернозем. Для каждого почвенного типа оптимальны определенные свойства, процессы и режимы. В то же время для почв легкого и тяжелого гранулометрического состава (песка и глины) оптимумы всех других показателей свойств почв свои. То есть и модели плодородия для них будут отличаться. В развитых странах оптимум содержания подвижных форм элементов питания отличается не только для почв определенного гранулометрического состава, но и почв в различных интервалах рН, степени гумусированности, емкости катионного обмена. Аналогичная тенденция и других параметров моделей плодородия.

Оптимальные свойства почв существенно зависят от гидротермических условий. Например, оптимум содержания подвижных фосфатов под пшеницу для условий Московской области 15 мг/100 г; для Урала – 25 мг/100; для Магаданской области, Сибири – до 40 мг на 100 г. Оптимум содержания легкогидролизуемого азота в Московской области 6 мг/100 г, в Сибири – до 15. Это обусловлено тем, что растения значительно хуже усваивают фосфор и азот при температурах ниже 100. Аналогично от влажности и температуры зависят оптимумы и других свойств почв. Таким образом, модели плодородия, например, дерново-подзолистых почв в Германии, в Московской области и в Красноярском крае будут существенно отличаться.

Модели плодородия почв составляются для определенных культур или групп культур. Например, для чая необходимо значение рН около 4, а для картофеля, льна 5,0-5,5; для пшеницы – 6-7 и т.д. Оптимальные значения содержания подвижных форм элементов питания для овощных культур в два раза выше, чем для зерновых. Модели плодородия почв зависят от уровня интенсификации сельскохозяйственного производства. В парниковых хозяйствах оптимальное содержание гумуса и элементов питания в десятки раз выше, чем для почв окружающих полей. Сорта зерновых интенсивного типа могут давать урожай до 100-120 ц/га, но растут только на очень плодородных почвах, на бедных почвах они вообще расти не будут. Сорта зерновых культур экстенсивного типа могут дать на плохих почвах урожай 5-15 ц/га, но и на хороших почвах не дадут больше 25 ц/га. Очевидно, что и модели плодородия для сортов экстенсивного и интенсивного типов будут отличаться. Отдельные сорта растений также в различной степени требовательны к элементам питания, обладают различной адаптационной возможностью к загрязнению. В связи с этим, почва, плодородная для одного сорта, может оказаться недостаточно плодородной для другого сорта. Система удобрений, разработанная для одного сорта, к сожалению, в ряде случаев, не дает должного результата для другого сорта.

Модели плодородия зависят от характера сельскохозяйственного использования почв. Для дачного и, частично, фермерского хозяйства возможно различное использование склонов разной крутизны и экспозиции, повышенных и пониженных элементов рельефа, отдельных компонентов структуры почвенного покрова. Для больших хозяйств это нереально.

Все вышеизложенное свидетельствует о значительном влиянии на экологическое состояние агрофитоценозов выбранных и достигнутых в производстве моделей плодородия почв. Необходимо рассмотрение экологических ограничений при разработке моделей плодородия почв.

**4. Законы земледелия и агроэкологии**

Биотехносфера – это область нашей планеты, в которой существует живое вещество и созданные человеком урбано-технические объекты и где проявляется их взаимодействие и влияние на окружающую среду (Хильми Г.Ф.). В отличие от биосферы, биотехносфера – не самоуправляющаяся организованная система, а сложный конгломерат многих подсистем, которыми управляет человек. Это подсистемы не аккумулируют, а расходуют энергию, биомассу и кислород биосферы.

Основные функции общественного производства, которые реализуются в биотехносфере следующие: 1. Человек в первом звене биологического круговорота выполняет автотрофную функцию (увеличивая продуктивность агрофитоценозов). 2. Человек расширяет гетеротрофное звено биологического круговорота вещества и потока энергии (удлиняет пищевые цепи и увеличивает количество функционирующего в них живого вещества). 3. Человек выполняет роль деструктора органических вещств. 4. Человек берет на себя функции физико-химического и биологического выветривания. 5. Выполняет в осуществлении биологических круговоротов не только космическую, но и субстратно-энергетическую роль (Игнатов А.И., Исаев С.И., 1984).

В агрофитоценозах, в отличие от естественных сообществ, нарушаются взаимосвязи, они испытывают постоянное антропогенное воздействие. Сельскохозяйственное использование почв изменяет биопродуктивность системы, а следовательно, и накопление в ней энергии. Процессы деградации почв и ландшафтов чаще соответствуют увеличению энтропии или меры беспорядка системы, а также ее долговечности и надежности. Непрерывное поддержание и регулирование природных процессов в желательном направлении и на должном уровне составляет отличительную черту культурного ландшафта, в сравнении со стихийно нарушенным, обреченным на деградацию или длительный адаптационный процесс (Кирюшин В.И., 1996). Культурный ландшафт менее устойчив, чем первичный природный, т.к. естественные механизмы саморегулирования в нем нарушены, и требуются усилия по его поддержанию. Естественный ландшафт стремится отторгнуть чуждые ему элементы и вернуться к первоначальному состоянию.

Изменение ландшафта, испытывающего на себе воздействие человека, может оказаться необратимым. Именно поэтому, для регулирования агроэкосистем, необходимо учитывать законы земледелия. Принятые в земледельческой науке законы (равнозначности и незаменимости факторов жизни растений, минимума, оптимума, максимума, совокупности действия факторов, возврата, убывающего плодородия почв) определяют взаимодействие факторов жизни растений в процессе создания урожая.

1. *Важное значение имеет оценка допустимого уровня антропогенного воздействия на агрофитоценозы*.

Правило меры преобразования природных систем запрещает при их эксплуатации переходить некоторые пределы, за которыми теряется их способность к самоподдержанию (самоорганизации и саморегулированию). В наиболее уязвимых районах коренным преобразованием может быть охвачено не более 1% площади экосистем, находящихся в природно-естественном состоянии. Площадь коренным образом измененных экосистем в наиболее благоприятных условиях может достигать 40%, после чего ущерб резко возрастает (Реймерс Н.Ф.).

Правило цепных реакций «жесткого» управления природой свидетельствует о том, что создание объектов, меняющих природные процессы, ведет к природным цепным реакциям, значительная часть которых оказывается экологически, социально и экономически неприемлемыми в длительном интервале времени. Биосистема, попадая в экстремальные условия, упрощается, становится более «жесткой», у нее уменьшается число степеней свободы (Шакин В.В.).

2. *Сельскохозяйственное использование почв и выбор систем земледелия основаны на оценке факторов, необходимых для жизни растений*.

Закон единства растений и среды Вернадского В.И. говорит о том, что жизнь развивается в результате постоянного обмена веществом и информацией на базе потоков энергии в совокупном единстве среды и населяющих ее организмов. Согласно правилу Вильямса В.Р., четыре основных экологических фактора: свет, тепло, питание и вода – являются равнозначными и незаменимыми (замещаемость существует лишь в некоторых пределах).

Закон компенсации факторов Рюбеля Э. Свидетельствует о том, что отсутствие или недостаток некоторых экологических факторов может быть компенсирован другим близким фактором. Например, недостаток света частично может быть компенсирован для растений обилием диоксида углерода. Увядание растений можно приостановить как увеличением количества влаги в почве, так и снижением температуры воздуха, что уменьшает испарение. В ряде случаев, климатические факторы могут быть замещены эдафическими. Сухость и теплота известковых почв замедляет более южный климат. Потребность растений в определенных факторах жизни может быть уменьшена за счет взаимовлияния других факторов.

Закон совокупности действия факторов (закон эффективности факторов, закон совокупности действия), сформулированный Митчерлихом Э., Бауле Б., Тинеманом А. Говорит о том, что взаимосвязь экологических факторов и их взаимное усиление и ослабление определяют их воздействие на организм и успешность его жизни. При этом, важны не только воздействие извне, но и физиологическое состояние организма.

Закон неоднозначного (селективного) действия фактора на различные функции организма гласит, что любой экологический фактор неодинаково влияет на функции организма, оптимум для одних процессов – не есть оптимум для других.

3. *Для получения высоких урожаев необходим поиск факторов, в наибольшей степени, лимитирующих рост и развитие растений*.

Закон минимума Либиха Ю. Свидетельствует о том, что успешный рост и урожайность сельскохозяйственных культур зависят от веществ, находящихся в минимуме, по сравнению с другими агрохимически необходимыми веществами.

По закону минимума Блэкмана Ф., факторы среды, имеющие в конкретных условиях наихудшие значения, особенно ограничивают возможность существования вида в данных условиях, вопреки и несмотря на оптимальное сочетание других отдельных условий.

С нашей точки зрения, в наибольшей степени лимитирующими рост и развитие растений являются те факторы почвенного плодородия, которые обусловливают наибольшие затраты энергии при развитии на этих почвах растений. Следует отметить, что для сельскохозяйственных культур в разные периоды их роста и развития ведущими являются разные экологические факторы (при прорастании – температура, в период колошения – количество влаги, во время созревания – количество питательных веществ в почве и т.д.). В каждый период жизни объекта будут и свои факторы, определяющие его развитие, в том числе и свойства почв.

По закону относительности действия лимитирующих факторов Лундегарда-Полетаева, форма кривой роста численности популяций (ее биомассы) зависит не только от одного вещества с минимальной концентрацией, но и от концентрации и свойств других ионов, имеющихся в среде. Следует отметить, что одни факторы являются ведущими, другие сопутствующими. Однако, для разных условий, объектов и фаз развития экологические факторы оказывают неодинаковое воздействие. При этом, ведущий фактор может стать сопутствующим, а стимулирующий – угнетающим.

4. *Важным является общепринятый постулат, что разнообразие – всегда во благо.* (Soule, 1985). Растения всегда образуют сообщества, видовой состав которых зависит от почвенных и климатических условий. В этих сообществах разные виды растений и обитающие живые организмы связаны многочисленными взаимосвязями и образуют устойчивое единое целое, способное противостоять неблагоприятным условиям среды, массовому распределению вредителей и болезней. Везде, где абиотические факторы среды близки к оптимальным для жизни, возникают богатые видами и, как правило, устойчивые сообщества.

Закон необходимости разнообразия утверждает, что система не может сформироваться из абсолютно одинаковых элементов или на принципе монополизма. Монокультура не обладает свойствами самоподдержания.

Эффект группы состоит в том, что нормальное развитие многих видов возможно лишь при объединении их в различные группы. «Эффектом группы» называют улучшение физиологических процессов, ведущее к повышению устойчивости и жизнеспособности при совместном существовании. С биоразнообразием связаны и особенности сообществ, как надорганизованных систем (Тишлер, 1971): 1) сообщества всегда возникают из готовых частей – представителей различных видов или целых комплексов их, имеющихся в окружающей среде; 2) части сообщества заменяемы: один вид (или комплекс видов) может занять место другого со сходными экологическими требованиями, без ущерба для системы; 3) сообщества существуют, в основном, за счет уравновешения противоположно направленных сил; 4) сообщества основаны на количественном регулировании одних видов другими; 5) размеры сообществ определяются внешними причинами, а предельные размеры организмов ограничены их внутренней наследственной программой. Приспособительные возможности у популяции гораздо выше, чем у слагающих ее индивидуумов. Чем сложнее структура популяции, тем выше ее приспособительные возможности. Взаимовлияние популяций двух видов может быть нейтральным, положительным, нейтральным для одного и отрицательным для другого, положительным для одного и отрицательным для другого.

5. *Большое значение при разработке систем земледелия имеет закон возврата*.

Вынос элементов питания с урожаем, а также другие потери веществ, связанные с деятельностью человека (эрозионные, усиление миграционных потоков в сопредельные среды и т.д.), приводят к снижению уровня плодородия, и должны устраняться принятыми системами земледелия. Кирюшин В.И. отмечает, что охрана природных жизнеобеспечивающих систем предполагает систему мер по предотвращению их загрязнения, поддержанию целостности и восстановлению, т.е. возврат долгов природе и введение социально-экономического развития в экологически безопасное русло, определенное возможностями природно-ресурсного потенциала регионов, емкостью ландшафтов. При этом, под емкостью ландшафтов понимается способность их принять и трансформировать определенное количество вещества и энергии при устойчивости функционирования. Антропогенные воздействия должны выбираться с учетом направленности природных процессов, памятуя, что противодействие им затратно и сопряжено с экологическим риском.

6. *Предельно допустимые концентрации токсикантов*

Предельно допустимые концентрации токсикантов для отдельных компонентов системы зависят от сочетания внешних факторов, свойств почв, экологических требований произрастающих культур. Большое значение имеет оценка устойчивости почв и растений к антропогенным стрессам.

Согласно закону толерантности Шелфорда В., лимитирующим фактором процветания организма может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия, диапазон между которыми определяет величину выносливости (толерантности) организма к данному фактору. Один и тот же фактор в сочетании с другими оказывает неодинаковое экологическое воздействие, и, наоборот, один и тот же результат может быть получен разными путями: 1) толерантность по отношению к данному фактору и положение зоны оптимума могут быть различными для различных физиологических и –экологических функций организма (Одум Ю.); 2) границы экологической толерантности характеризуют не биологические виды, а отдельные их географические популяции (Одум Ю.); 3) толерантность организма, по отношению к одному и тому же фактору, зависит от пола и возраста (Одум Ю.); 4) оптимальная зона и пределы выносливости организма, по отношению к тому или иному фактору, могут заметно смещаться в зависимости от того, в каком сочетании и с какой силой действуют одновременно другие факторы; 5) интегральное действие на организм совокупности экологических факторов осложнено явлениями монодоминантности, синергизма, антагонизма и провокационности их совместного действия.

При этом, монодоминантность проявляется в том, что один из факторов, находясь либо в минимуме, либо в максимуме, оказывает столь сильное воздействие, что подавляет влияние всех остальных факторов. Синергизм проявляется в усилении одним фактором действия другого. Антагонизм проявляется в ослаблении одним фактором действия другого. Провокационность соответствует сочетанию стимулирующих веществ с летальными при усилении отрицательных эффектов. Указанные взаимосвязи проявляются как при действии нескольких факторов на ландшафт, на почву, так и на растения, биоту.

7.*Важным вопросом является прогноз максимально возможной биологической продуктивности для конкретных территорий*.

Популяциям свойственны рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях. Когда среда не оказывает ограничивающего влияния, скорость роста популяции на особь для данных климатических условий постоянна и максимальна. В то же время, благодаря саморегулированию, прирост массы и распределение отдельных членов экосистемы всегда подчинены функциональному целому, и популяции не растут безгранично.

В биосфере сама биота, в соответствии с принципом Ле-Шателье, обеспечивает стабильность окружающей среды. Биосфера, в целом и естественные экосистемы, обладают предельной хозяйственной емкостью; превышение верхнего порога этой емкости нарушает устойчивость биоты и окружающей среды. В пределах хозяйственной емкости биосфера и земные экосистемы, подчиняясь принципу Ле-Шателье, быстро восстанавливают все нарушения окружающей среды, и последняя остается устойчивой; способность восстановления в абсолютных величинах, как и предел хозяйственной емкости. Превышение хозяйственной емкости приводит к размыканию биогенов и деформации окружающей среды. Нарушения окружающей среды обусловливают изменения экологических ниш, как следствие, ведут к распаду геномов и, в дальнейшем, к исчезновению многих видов организмов (Экология, охрана природы и экологическая безопасность, 1997; Агроэкология, 2000).

Необходимо ограничение максимальной продуктивности агроценозов, в связи с техногенной нагрузкой, токсичными по величине потоками вещества и энергии, предельно допустимый уровень которых, обусловлен буферными свойствами почв, ландшафтов. С этой точки зрения, нельзя создавать почву с высоким фоном элементов питания, по загрязняющую грунтовые воды, воздух, сельскохозяйственную продукцию. Избыток каких-либо элементов в почве, уменьшение степени разнообразия экологических ниш приводит к уменьшению степени самоорганизации системы, что, в дальнейшем, требует и гораздо больше энергии для ее оптимизации.

# Закономерности, аксиомы, постулаты и правила агроэкологии

При рассмотрении установленных зависимостей влияния антропогенных факторов на агрофитоценозы целесообразно рассматривать законы, закономерности, постулаты, правила и эмпирические зависимости. Они выяснены для агроэкосистем, почв, системы почва-растение, отдельных процессов, для конкретных условий и ситуаций. Закономерности и правила агроэкологии могут рассматриваться на разном уровне для ландшафтов, системы почва-растение, почв, для деградации и окультуривания почв и.д.

Преображенским А.А. сформулированы следующие основные системные ландшафтно-географические постулаты: 1) системная аксиома – окружающий нас мир системен; все разнообразные элементы его взаимосвязаны; 2) иерархическая аксиома – любая система состоит из системы низкого ранга и входит в системы высшего ранга; 3) временная аксиома – наблюдаемые явления – момент в общем ходе прошлого и будущего развития; 4) планетарная аксиома – планеты – открытые системы; 5) земледельческая аксиома; 6) ландшафтная аксиома – существует иерархическое подчинение ландшафтов.

# Геохимическая деятельность организмов

К фундаментальным законам, управляющим геохимической деятельностью живых организмов в биосфере, относятся, в частности, следующие: 1) биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению; 2) эволюция видов, в ходе геологического времени приводящая к созданию устойчивых в биосфере форм жизни, ведет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов в биосфере.

Распределение химических элементов в земной коре подчиняется следующим закономерностям: 1) закону Кларка-Вернадского, согласно которому все химические элементы есть везде; 2) закону Ферсмана, согласно которому с усложнением строения атомного ядра химических элементов, его утяжелением, кларки элементов уменьшаются; 3) в земной коре преобладают элементы с четными порядковыми номерами и атомными числами; 4) среди соседних элементов, у четных – всегда кларки выше, чем у нечетных (Одуо, Гаркис); 5) особенно велики кларки атомных элементов, атомная масса которых делится на 4 (O, Mg, Si, Ca), а, начиная с А1, наибольшими кларками обладает каждый 6 элемент (O, Si, Ca, Fe) (Орлов Д.С., Безуглова О.С., 2000).

# Условия прогрессивного развития систем

В соответствии с принципами энергоэнтропики, в каждом классе материальных систем преимущественное развитие получают те, которые при данной совокупности внутренних и внешних условий достигают максимального значения негэнтропии или максимальной энергетической эффективности (КПД, долговечности надежности). Это характерно для прогрессивно развивающихся почв. При нарушении экологической обстановки происходит деградация почв, начинает преобладать тенденция к возрастанию энтропии, рассеивание вещества и энергии, уменьшению свободной энергии системы. При прогрессивном развитии экологическая система достигает характерного для каждой совокупности внешних и внутренних условий предела, который можно выразить максимальным значением соответствующего вида негэнтропии. Это следует учитывать и при планировании уровня плодородия почв, урожая сельскохозяйственных культур.

# Условия устойчивости систем к антропогенным стрессам

1. Закон Эшби – системы, состоящие из большого числа разнообразных элементов, менее подвержены колебаниям. Для агрофитоценозов на основании этого закона можно выделить следующие зависимости. Чем более контрастна и сложна структура почвенного покрова, тем устойчивее почвенный покров к стрессовым ситуациям и антропогенным воздействиям. (Однако, это не значит, что он более пригоден для сельскохозяйственного производства). Сформированные в течение длительного времени горизонты почв не только являются отражением предыстории их развития и эволюции, но служат пакетом геохимических барьеров, обусловливающих развитие почв с другими компонентами экосистемы, являются факторами развития растений. Чем более сложен фракционный состав соединений элементов в почве, тем она более устойчива к факторам, изменяющим их подвижность. Естественные ценозы, содержащие большое число видов растений более устойчивы к стрессовым ситуациям и антропогенным воздействиям, чем культурные ценозы.

2. Факторы жизни растений, которыми их обеспечивает почва, тесно взаимосвязаны друг с другом. Изменение одного параметра почв до пределов, нехарактерных для почвы, но необходимых для развития определенного вида растений, приводит и к изменению всех других параметров почв, в большей или меньшей степени. Оптимизация одних свойств почв приводит к ухудшению других свойств. Поэтому для развития растений необходима не гомогенная, а гетерогенная почва. (Например, оптимизируя рН до рН=6,5-7,0, мы вызываем осаждение поливалентных металлов, увеличивая окислительно-восстановительный потенциал почвы, мы уменьшаем доступность для растений соединений железа и марганца). Оструктуривание почв приводит к возникновению разнокачественных зон на поверхности и внутри структурных отдельностей, что увеличивает устойчивость системы к внешним воздействиям.

3. Любой уровень антропогенной нагрузки на почву приводит к изменению ее свойств и сдвигает равновесие, а при длительном действии приводит к достижению новых условий равновесия. Эти новые достигнутые условия требуют для сохранения равновесия постоянного воздействия на почву тех же уровней антропогенной нагрузки (в качественном и количественном отношении).

4. Устойчивость системы к воздействию внешних факторов зависит от устойчивости структурных взаимосвязей в ней и адекватности ответных реакций на внешние воздействия. По Гришину П.Н., показатель устойчивости системы «почва» к антропогенным нагрузкам описывается следующим выражением:

0 < ηУСТ = ∑ ⎢b1 ⎢ : (∑∑ ⎢ai ⎢+ ∑ ⎢bi⎢, где а – коэффициент, характеризующий положительное или отрицательное влияние входной переменной Хd и выходную переменную Х1 в уравнениях регрессии; ηУСТ – устойчивость взаимосвязей параметров плодородия – функция саморегулирования почвы, как сложной системы. Указанный показатель характеризует степень экологической буферности почв, то есть способности почвы сохранять свои структурно-функциональные характеристики при массированном антропогенном воздействии. В ряде случаев проявляется правило, согласно которому эффект действия одного фактора на объект проявляется только при совместном действии другого фактора или двух других факторов, который можно было бы назвать эффектом необходимости третьего. При экстремально высоких воздействиях на систему число степеней свободы в ней уменьшается.

Эффект воздействия любого фактора на объект зависит от скорости процесса воздействия. Однако, для разных объектов понятия скорости и времени относительны. (Один день для развития мотылька, живущего 1 день, несет совсем другую временную функцию, чем 1 день для древесного растения, живущего 100-1000 лет, пшеницы, развивающейся 1 вегетационный период, почвы, развивающейся 500 тысяч лет). У каждого объекта свое исчисление времени, определяемое интенсивностью и скоростью внутренних процессов, в первом приближении, пропорциональных продолжительности жизни.

При оценке влияния продолжительности воздействия и скорости воздействия на объект существуют закономерности: 1) более молодые объекты более податливы воздействию; 2) эффект определяется продолжительностью воздействия относительно времени всей жизни; 3) фазой развития объекта; 4) продолжительностью воздействия относительно скорости развития процессов в организме; 5) кратностью включения действующего на объект вещества в процессы метаболизма объекта в течение его жизни, наиболее активной фазы развития; 6) градиентом изменения интенсивности воздействия во времени; 7) закономерной сменой кода воздействия во времени. Адаптация и селективность почв и растений к определенным факторам внешней среды, заложенная в молодом возрасте объекта, сохраняется и в течение всей жизни объекта. Совокупность факторов воздействует сильнее всего на организмы в те фазы их развития, когда они имеют наименьшую толерантность.

# Формирование почв

1. Формирование почв, как компонента экосистемы и ее экологических функций обусловлено взаимовлиянием на почву внешних факторов. В отдельных случаях влияние одного из внешних факторов, в значительной степени, превышает влияние других, но в большинстве случаев отмечается сложное взаимовлияние факторов на формирование почв и их экологических функций

2. Эволюция почв обусловлена не только известными факторами почвообразования (климатом, рельефом, растительностью, почвообразующими породами, возрастом почв, антропогенным влиянием), но и воздействием различных видов геофизических полей. Эффект их влияния определяется при сложении векторов с учетом скалярных величин действия этих факторов на протекающие в почве процессы. Часто силовые линии геофизических полей определяют накопление токсикантов и проявление экологических функций почв, формирование почвенно-геохимических барьеров. В таких ситуациях очаги накопления токсикантов не могут быть устранены без коренной переделки природы, и их лучше оставить без изменения, т.к. эффект любых мелиораций будет исчезать через несколько лет.

3. Формирование экологических функций почв, как компонента экосистемы, зависит от экологических функций растительности, рельефа, грунтовых вод, почвообразующих пород. Отмечается аддитивное взаимодействие, синергизм и антагонизм взаимного влияния компонентов экосистемы, внешних факторов, свойств, процессов и режимов почв.

4. Существует взаимосвязь состояния соединений ионов на гранях отдельностей, в педах и кутанах, в почвенном растворе, в горизонте, профиле почв, в отдельном компоненте структуры почвенного покрова, в ландшафте. Существует иерархическое соподчинение состояния соединений ионов, концентрационных и других полей в отдельных компонентах ландшафта. Все части почвы связаны с целым функциональным ее механизмом и только через это целое взаимодействуют между собой.

5. Активный слой почвенного покрова обладает свойством накапливать результаты внешних воздействий.

6. Важная движущая сила процессов в системе почва-растение – градиент действующих на систему факторов.

7. По мнению Мотузовой Г.В., у геологической породы с факторами выветривания обратная положительная связь; с каждым шагом выветривания воздействие усиливается.

8. Прогрессивное развитие почв также может лимитироваться недостатком кальция, азота и т.д., избытком свинца и кадмия, но и отсутствуем отдельных видов биоты, резким ингибированием отдельных процессов почвообразования; экстремальными значениями отдельных факторов почвообразования и т.д.

9. Почва развивается и постепенно стареет, приходит к климаксному состоянию, когда накопление энергии находится в соответствии с коэффициентом радиационного баланса и коэффициентом увлажнения. Такое состояние характерно и для культурных почв. Чем более молодая почва, тем она более динамична и податлива к изменению своих свойств до оптимума, чаще более плодородна с учетом коэффициента использования солнечной и антропогенно затраченной энергии.

10. Развитие экосистем и, в частности, почв и растений определяется трансформацией, миграцией и накоплением не только вещества и энергии, но также информации. Информация заключена в строении почвенного профиля, составе гумуса, вторичных минералов, ППК, новообразований, в структуре почвенного покрова. Эта информация дает возможность проследить путь эволюции почв или отдельных компонентов. Однако, в дополнение к историческому аспекту, следует учитывать и ряд аспектов информации имеющих практическое значение.

а) Информация, заключенная в почве, позволяет оценить будущий ход их развития. Прошлое определяет, в значительной степени, будущее. Будущее определяет настоящее. Зная промежуточный этап стадии, например, химической реакции, мы можем оценить и конечный этап. Знание будущего пути развития почв позволяет найти и пути их регулирования.

б) В отдельных горизонтах почв заключена не только информация об эволюции почв, но они имеют и разные агрономически важные свойства. Вряд ли правильно при выращивании культур (и при оценке трансформации ионов в почвах) не учитывать градиент физических полей между горизонтами. Неверно оценивать плодородие только по свойствам горизонта Ап, ведь в разные фазы развития растений в каждом горизонте будет и определенное количество корней и, если один из подпахотных корнеобитаемых слоев токсичен, то плодородие Ап не гарантирует урожай.

в) Свойства почв значительно отличаются в разных гранях структурных отдельностей; они значительно отличаются в разных слоях структурных отдельностей (как в кольцах на срезе деревьев). Очевидно, что процессы взаимодействия, в том числе и удобрений, протекают на грани отдельностей, а не внутри них. Растения также больше питаются с поверхностей граней. Недооценка этого явления вносит существенные ошибки в разрабатываемые проекты.

г) Свойства почв в поле и сухих растертых образцов существенно отличаются. В полевых условиях мы оцениваем «живые» почвы и современные процессы, которые определяют сейчас развитие почв и растений. В сухих растертых образцах мы оцениваем изменения, накопившиеся за много лет. Надо осознать, что, как по мертвой птичке нельзя оценить процессы при ее жизни, так и по анализу мертвых почв нельзя полно судить об их жизни.

д) В почве, как в матрице, заключены код и память для воспроизводства подобных существующим в почве компонентов. Например, внеся с удобрениями в дерново-подзолистую почву фосфаты кальция, мы находим их трансформированными в фосфаты железа и алюминия, характерные для этой почвы. Внеся в эту почву любые органические остатки, мы через определенный промежуток времени находим в почве гумус с характерным для нее соотношением СГК:СФК = 0,6-0,7 и т.д.

С практической точки зрения, необходимо знать эту трансформирующую способность почв, имеющую определенную емкость. Это позволяет прогнозировать поведение удобрений, мелиорантов и токсикантов в конкретных почвах. Информацию о свойствах почв несут излучаемые и отражаемые поля, воздушные экзаметаболиты, водные мигранты. Эту информацию улавливают растения; она регулирует их развитие. Информация – это не только ключ к познанию происхождения почв, это закодированный путь саморазвития, это перспективный путь регулирования, как биопродуктивности угодий, так и плодородия почв. Каждая часть почвы несет информацию, которая, посредством селективных носителей, распространяется повсюду.

**5. Экологическая устойчивость почв и агроэкосистем.**

*Понятие о деградации почв*

В толковом словаре по почвоведению (1975) деградация, в широком смысле слова, определяется, как совокупность процессов, ухудшающих плодородие почв, в более узком – как процессы разрушения структуры, потери гумуса, обменных оснований, сокращение обеспеченности доступными элементами питания. С точки зрения экологии, это дополнительно сокращение экологических функций почв. Кирюшин В.И. (1998) отмечает, что под деградацией почв следует понимать устойчивое ухудшение их свойств и связанное с ним сокращение или утрату экологических и производственных функций. Фрид А.С. (1999) определяет деградацию почв, как одно из проявлений эволюции или катастрофических не эволюционных изменений, оцениваемых человеком в аспекте хуже - лучше, которое может вызываться природными и антропогенными факторами.

Развитие компонентов экосистемы и всей системы в целом предполагает постоянную, точную подстройку функционирования системы, ее взаимосвязей , структуры и вещественного состава к изменяющимся внешним условиям и антропогенным нагрузкам. С точки зрения энергоэнтропики, прогрессивно развивающиеся системы характеризуются накоплением свободной и внутренней энергии, уменьшением энтропии, увеличением надежности и долговечности. Деградация почв приводит к противоположным тенденциям.

Для почв при деградации наблюдается уменьшение биопродуктивности систем, плодородия почв, уменьшение КПД использования фотосинтетически активной радиации и антропогенно затраченной энергии как на повышение урожая, так и на воспроизводство плодородия почв. Произошедшие изменения сопровождаются уменьшением адекватности ответных реакций системы на внешние воздействия окружающей среды и на антропогенный прессинг. В конечном итоге, это приводит к разбалансировке системы, а именно, к нарушению естественных структурных взаимосвязей в системе, к увеличению степени аддитивности ее компонентов. Наблюдающееся увеличение степени несоответствия системы внешним условиям соответствует увеличению разомкнутости петли гистерезиса, изменению свойств почв от факторов внешней среды, уменьшению эластичности, надежности и долговечности системы. В практическом плане, это приводит к изменению свойств, процессов и режимов почв, агроэкосистем, к нарушению процессов их саморегулирования и саморазвития. При этом возникающие изменения связаны с трансформацией и миграцией не только вещества, то также энергии и информации.

При оценке деградации почв и ландшафтов перспективно их рассматривать, как самоорганизующиеся и «живые» системы, состоящие из большого количества подсистем различной степени подчиненности. С нашей точки зрения, необходимо рассматривать почву: 1) как исторически сложившееся биокосное тело; 2) как средство сельскохозяйственного производства; 3) как избирательную полупроницаемую мембрану; 4) как защитную оболочку литосферы; 5) как сорбент, в котором происходит трансформация потоков вещества и энергии из всей экологической системы. Деградация почв, как средства сельскохозяйственного производства, это потеря плодородия почв и продуктивности земель. Деградация почв, как исторически сложившегося тела – это уменьшение накопления энергии, увеличение энтропии системы, уменьшение ее надежности, эластичности и долговечности.

Почва выполняет значительное количество экологических функций. Ухудшение или деградация одной функции не всегда соответствует ухудшению других экологических функций. Так, например, подщелачивание среды приводит к уменьшению биопродуктивности, но часто – к увеличению буферности почв по отношению к загрязнению их тяжелыми металлами, т.к. они при таких условиях образуют трудно растворимые осадки. Критерии деградации, с точки зрения выполнения ими разных экологических функций, также неодинаковы. Так, развитие подзолообразования в таежно-лесной зоне соответствует деградации окультуренных почв, но в то же время соответствует приближению почв к условиям равновесия с внешними факторами, естественной эволюции почв.

При экологической оценке деградации почв рассматривают следующие показатели: факторы деградации, виды деградации, взаимовлияние процессов деградации, мощность деградационных воздействий, скорость деградации, этапы деградации, устойчивость почв к деградации, степень деградации, обратимость деградационных изменений. С практической точки зрения, необходимо оценивать уровень воздействия факторов, вызывающих деградацию, степень изменения почв, возможность восстановления почв, пути оптимизации обстановки.

# Факторы деградации почв

Деградация почв зависит от внешних, воздействующих на нее природных и антропогенных факторов. Деградация почв может возникать, за счет резкого изменения естественных потоков вещества и энергии в системе почва - окружающая среда. В конечном итоге, деградация наступает при превышении буферной емкости почв и ландшафтов по степени распашки территории, ее застройки, использовании для технических нужд, по уровню антропогенного воздействия веществом и энергией. Она также наблюдается при превышении допустимого уровня степени открытости термодинамической системы почва-растение, превышении допустимого порога механического воздействия, доз удобрений и ядохимикатов, биопродуктивности, уровней отчуждения элементов с урожаем и их элюирования, уровней загрязнения и т.д. При этом, для определенных конкретных условий существуют свои пределы распашки территории, трансформации ландшафтов, пределы механической и другой антропогенной нагрузки, пределы уменьшения видового разнообразия растительного покрова м биоты, их биопродуктивности.

Окультуривание почв, как правило, приводит к нарушению в них естественных взаимосвязей, к увеличению неравновесности состояния, что может поддерживаться только за счет постоянного притока в систему вещества, энергии и информации. Наиболее важными причинами деградации окультуренных почв являются осушение, орошение, подтопление, засоление, осолонцевание, уплотнение почв, их опустынивание, подкисление, загрязнение, механическое разрушение, проявление различных видов эрозии, почвоутомление, неправильное внесение удобрений и мелиорантов, обеднение почв, подзолообразование, осолодение и т.д.

Ряд авторов предлагает группировку видов деградации. Габбасова И.М. (2001) выделяет три основных причины деградации почв: эрозионную, гидрологическую, химическую. С практической точки зрения, рационально рассматривать деградацию почв под влиянием растений (технологий выращивания и самих растений), выращивания животных; под влиянием продуктов отхода растениеводства, животноводства; под влиянием отходов промышленности, при строительстве; под влиянием загрязнения среды, под влиянием естественных и антропогенных гидрологических условий территории. При этом деградация может быть обусловлена превышением допустимых нагрузок на экосистему при правильном природопользовании; несовершенством существующих технологий; нарушением существующих технологий, авариями.

На развитие деградационных процессов в значительной степени влияют внешние факторы. Гравитационные, магнитные, электрические поля Земли, геопатогенные зоны в значительной степени определяют биопродуктивность, а следовательно, и устойчивость почв к деградации. Так, например, наличие разломов земной коры соответствует накоплению на поверхности токсикантов, что снижает биопродуктивность и способствует развитию деградационных процессов. Локальное изменение гравитационного поля, обусловленное залежами полезных ископаемых, изменяет и рост корневых систем растений. Это приводит и к изменению устойчивости растений к засухе. Изменение устойчивости к деградации растительного покрова – есть причина изменения устойчивости к деградации почв. Геохимические провинции также в значительной степени влияют на устойчивость почв к деградации. Повышенное содержание цинка, селена и ряда других микроэлементов способствует устойчивости растений к засухе, что снижает риск деградации.

Развитие почв и агрофитоценозов протекает при совместном влиянии на них воздушных и водных мигрантов, различных физических полей, в том числе недр Земли, Космоса, полей антропогенной природы. Взаимовлияние этих полей обусловливает силовые линии миграции элементов, в том числе токсикантов, и энергии. (Они определяются векторными и скалярными величинами миграции). В свою очередь, направление силовых линий различных физических полей в агрофитоценозе зависят от строения земной коры, литологии, гидрологии, геоморфологии данного района почвенного и растительного покрова. Под влиянием таких силовых линий в почвах возникают как зоны аккумуляции, стягивания элементов, так и первичные зоны деградации почв, как в пределах почвенного профиля, так и в пределах структуры почвенного покрова. Дополнительными факторами, сопутствующими деградации, является нарушение ландшафта и, связанное с ним, изменение гидротермического режима, базиса эрозии, усиление влияния на систему физических полей антропогенной природы, в связи со строительством и функционированием жилых массивов и технических сооружений, естественных силовых линий и напряженности различных физических полей. Следует отметить, что в пределах буферной емкости системы изменение воздействия на нее любого физического поля компенсируется адекватным изменением кода других физических полей. Однако, при превышении порога буферности начинают развиваться самоускоряющиеся процессы деградации системы.

# Параметры оценки деградации почв

Следует различать деградацию почв, как средства сельскохозяйственного производства, лесного хозяйства, геохимического барьера, компонента биогеоценозов и агрофитоценозов. Деградация почв может приводить к деградации их свойств, процессов, режимов саморегулирования и саморазвития. С экологической точки зрения, деградация почв может приводить к деградации различных экологических функций почв. При этом, деградация одной функции почв не обязательно соответствует деградации других функций. В то же время, каждая экологическая функция почв определяется значительным количеством свойств почв и, в более широком плане, процессов и режимов.

Габбасовой И.М. (2001) предлагается выделение следующих параметров, характеризующих развитие деградации почв: 1) совмещенность типов деградации (число типов и видов деградации, протекающих одновременно); 2) интенсивность нагрузки – давление, которое оказывает конкретный фактор деградации в единицу времени на единицу площади; 3) скорость деградации – величина изменений в единицу времени (на разных уровнях деградации); 4) обратимость деградации – возможность восстановления утраченных в процессе деградации свойств почв, характерных для данного генетического типа или восстановления плодородия; 5) устойчивость почв к деградации – способность почв противостоять внешним воздействиям (неравные исходные функциональные возможности и конкретные свойства генетически разных почв определяют их неодинаковую устойчивость к одному и тому же типу или виду деградации); 6) степень деградации – степень отклонения параметров от аналогичной не деградированной почвы или удаленность от оптимальных показателей, характерных для ненарушенных почв.

Мощность деградационных воздействий определяется интенсивностью воздействия, его продолжительностью, импульсностью или равномерностью воздействия во времени, закономерной сменой воздействия во времени и в пространстве. Под степенью деградации понимается степень отклонения параметров от аналогичной не деградированной почвы или удаленность от оптимальных показателей, характерных для ненарушенных почв. Общую или итоговую оценку степени деградации проводят в соответствии с одним показателем, «ведущим» для конкретного вида деградации и подразделяют ее на пять степеней: не деградированные почвы, слабо, средне, сильно, катастрофически деградированные.

Для оценки уровня деградации определяют фактор устойчивости к внешним воздействиям, фактор структурных связей, фактор надежности (степень адекватности ответных реакций на внешние воздействия, стабильности корреляционных взаимосвязей), фактор долговечности (кинетики изменения свойств почв при внешних воздействиях), фактор энергетической выгодности функционирования системы (оценки КПД использования вводимых в систему вещества и энергии).

Деградация почв сопровождается уменьшением их биопродуктивности. Это приводит к уменьшению содержания в почвах гумуса. В связи с тем, что микроорганизмы менее энергично разлагают ароматические группировки гумуса в почве увеличивается их доля, а также доля инертного гумуса; увеличивается его термоустойчивость, отношение С:Н. Протекание этих процессов приводит к уменьшению комплексообразующей способности органического вещества, его биологической активности, структурообразующей способности, емкости поглощения, протекторной функции. Для окультуренных почв степень их деградации коррелирует с развитием почвообразовательных процессов: подзолообразования, оглеения, засоления, осолонцевания, осолодения. В то же время деградация почв пропорциональна развитию таких почвенных процессов, как эрозия, уплотнение, подкисление, загрязнение и т.д. При оценке степени деградации почв необходимо оценивать степень деградации горизонтов, профиля почв, катены, ландшафта, агрофитоценоза, степень изменения свойств почв, процессов, режимов.

# Совместное влияние на почву нескольких факторов деградации

Как правило, на почву действует одновременно несколько факторов внешней среды. Они действуют на различные экологические функции почв. Развитие деградации одного компонента экосистемы тесно связано с деградацией других компонентов. В связи с этим, приходится оценивать устойчивость к деградации рельефа, растительности, почв, пород. При слабой устойчивости к деградации одного из компонентов системы, вся совокупность является также неустойчивой. Этот принцип правилен при оценке деградации отдельных свойств почв. Во всех рассмотренных случаях отмечается аддитивное взаимодействие, синергизм и антагонизм взаимного влияния компонентов экосистемы, внешних факторов, свойств, процессов и режимов почв.

Устойчивость почв к деградации под влиянием даже одного фактора зависит от сочетания и взаимовлияния протекающих процессов. Так, деградация почв под влиянием подкисления зависит не только от рКа функциональных групп мигрирующих соединений, но и от количества этих соединений, от их комплексообразующей способности и, в том числе, от констант устойчивости образующихся комплексов. Этим объясняется значительно более сильное разрушающее влияние на почву фульвокислот, по сравнению с минеральными кислотами, при тех же значениях рН и концентрациях.

В исследованиях, проведенных на дерново-подзолистых и торфяно-перегнойно-глеевых почвах, установлено, что устойчивость почв к загрязнению тяжелыми металлами уменьшается при подкислении почв и развитии анаэробиозиса. В то же время, устойчивость почв к оглеению и подкислению, в ряде случаев, возрастала в определенном интервале загрязнения почв, в связи с ингибированием кислотообразующих и анаэробных микроорганизмов.

Следует отметить, что резкое изменение внешних факторов формирования почв (орошение, осушение и т.д.) приводит к увеличению степени неравновесности состояния почв к увеличению податливости их к различным деградационным процессам. Интенсивное воздействие на почву любых антропогенных факторов приводит к увеличению степени неравновесности ее состояния. При наличии при этом деградационных факторов происходит резкое увеличение деградации почв. Интенсивность данных процессов сохраняется и после прекращения действия на почву факторов почвообразования.

# Этапы деградации

Деградация системы проходит последовательно несколько этапов: 1) уменьшение адекватности ответной реакции системы на внешние воздействия; 2) уменьшение энергетической эффективности использования ФАР и антропогенно затраченной энергии; 3) изменение структурных взаимосвязей в системе; 4) изменение вещественного состава; 4) изменение процессов саморазвития и саморегуляции. Для почв и биоты в процессе деградации характерно упрощение системы и потеря ей энергии и информации. При интенсивной деградации все более упрощается и сокращается матричная функция почв и ее компонентов. Произведенное резкое изменение свойств, процессов и режимов почв уменьшает устойчивость почв к последующим воздействиям. При развитии процессов деградации всегда сначала возникают локальные очаги деградации. Если их вовремя установить, то проще устранить нежелательные процессы. На разных этапах деградации система в неодинаковой степени способна противостоять внешним воздействиям. Сначала устойчивость велика, а затем снижается, и при почти полной деградации дополнительные внешние воздействия снова менее эффективны.

# Устойчивость почв к деградации

Экологическая устойчивость почв к антропогенным нагрузкам – это способность почвы сохранять свои экологические функции при антропогенных воздействиях. Очевидно. что эта способность отмечается как для отдельных почв, так и для разных экологических функций, для отдельных воздействующих на почву факторов.

а) Устойчивость почв к антропогенному воздействию определяется устойчивостью к деградации всех компонентов экологической системы (рельефа, растительности, биоты, почвообразующих пород), При слабой устойчивости к деградации одного из компонентов экосистемы равновесие и в других компонентах нарушается. Деградация почв приводит к деградации рельефа и растительности, однако, существует и обратная зависимость.

б) Устойчивость к отдельным типам деградации (подкислению, засолению, эрозии и т.д.) даже у одной почвы различна. Почва может быть устойчива к вытаптыванию, но неустойчива к загрязнению и т.д.

в) При воздействии на систему внешних факторов, как правило, на одни свойства или параметры системы они действуют положительно, на другие отрицательно, то есть при деградации одних показателей системы (почв) деградация других свойств необязательна.

г) В одних интервалах воздействующего фактора почва может быть устойчива к нему, а в других интервалах неустойчива. При подкислении почв это определяется количеством в почве функциональных групп с определенной величиной рКа; при оглеении почв это определяется количеством в почве соединений с определенной степенью окисленности. То есть буферность почв неодинакова в разных интервалах рН и в разных интервалах Eh. Если почва обладает большой буферностью в одном интервале Eh, то это не значит, что она будет обладать большой буферностью и в других интервалах ОВП.

д) При антропогенном воздействии выше порога буферности по отдельным параметрам (степень распашки территории, уменьшение биоразнообразия, степень открытости системы, загрязнение и т.д.) начинают развиваться самоускоряющиеся процессы деградации системы.

е) Устойчивость почв к деградации зависит от состояния системы и ее свойств. На разных стадиях деградационного процесса устойчивость к дальнейшей деградации разная. В определенные (конкретные) фазы развития почв устойчивость к деградации отличается (она меньше для молодых почв и на ранней фазе их развития). Устойчивость к деградации зависит от времени жизни объекта. Устойчивость к деградации зависит от скорости процессов в объекте.

Устойчивость систем к деградации зависит от ряда факторов: 1) от устойчивости к воздействию каждого компонента системы; 2) от вида воздействия; 3) от интервалов воздействия; 4) от продолжительности воздействия; 5) от уже достигнутой фазы деградации системы и каждого ее компонента; 6) от сочетания стрессовых воздействий и действия на систему других физических полей; 6) от проявившихся процессов гистерезиса и памяти.

При оценке факторов, влияющих на деградацию почв, необходимо учитывать не только их интенсивность, но также продолжительность воздействия, градиент и закономерную смену во времени и в пространстве. Так, например, Габбасовой И.М. (2001) показано, что с увеличением степени эродированности во всех генетических типах почв лесостепной зоны возрастает удельная поверхность почв и выделенного из них ила, что обеспечивает повышение устойчивости почв при переходе от слабой к средней и от средней к сильной степени эродированности. Зайдельманом Ф.Р. (1992) показано, что, если сильно заболоченные минеральные почвы после осушения оказываются в обстановке застойно-промывного режима, то в них развивается интенсивный вынос щелочноземельных катионов, ила, сильное подкисление, уменьшение содержания несиликатного и валового железа, алюминия, увеличение содержания их подвижных форм, т.е. вторичное заболачивание вызывает интенсивное оподзоливание и глубокую деградацию почв.

Разная устойчивость почв к деградации в зависимости от сочетания внешних и внутренних условий определяет и разные предельно допустимые уровни воздействия на конкретные почвы в определенных условиях. Так, например, предельно допустимая концентрация тяжелых металлов в почвах определяется не их валовым содержанием, а активностью водорастворимых форм соединений. При этом активность зависит от прочности связи ионов с твердой фазой и с другими ионами в растворе. Она определяется эффективными произведениями растворимости осадков, эффективными константами нестойкости комплексов и эффективными константами ионного обмена в системе твердая фаза – раствор. Эти показатели зависят от рН и Eh среды, ионной силы раствора, его комплексообразующей способности. При образовании в растворе комплексов предельно допустимые концентрации зависят от знака и плотности их заряда, молекулярной массы. Величина предельно допустимых концентраций тяжелых металлов в почвах возрастает с увеличением рН, с увеличением емкости обмена катионов, с утяжелением гранулометрического состава, с увеличением прочности связи этих катионов с твердой фазой, с уменьшением скорости их перехода из твердой фазы в раствор, с увеличением доли минералов групп монтмориллонита и вермикулита.

Деградация агрофитоценозов в значительной степени зависит от устойчивости к деградации растительного покрова. Эволюцией экосистем движет противоречие, порожденное существованием двух противоположных процессов (между постоянно изменяющимися условиями среды и наследственностью живых систем) – абиотического энтропийного и биотического негэнтропийного. Агрофитоценозы отличаются от естественных ценозов ограниченностью видового разнообразия и, часто, недостаточной адаптацией растений к факторам внешней среды, в которую они помещены. Уменьшение биологической продуктивности является также следствием уменьшения биоразнообразия и появления в напочвенном покрове резко ограниченного числа видов с ограниченными адаптационными возможностями к условиям среды. Это приводит к уменьшению устойчивости и надежности системы. Устойчивость к деградации растительного покрова, в отличии от устойчивости к деградации почв, имеет ряд специфических особенностей.

Основным положением энергетики экосистем является необратимость биоэнергетических процессов. Как считает Наумов Н.П., в экосистеме помимо механизмов обратных связей, особенно на уровне биогеоценозов, действует специфическая система регуляции, к которой относится межвидовая сигнализация (оптическая, звуковая, электрическая, химическая), выражающаяся в возникновении вокруг биогеоценоза соответствующих «биологических полей».

Величина предельно допустимых концентраций токсикантов и уровней воздействия для растений зависит от селективности к ним корневых систем, длительности жизни растений, скорости протекающих процессов метаболизма, фазы развития растения. Величина ПДК для растений уменьшается с увеличением продолжительности жизни растения, с увеличением интенсивности процессов метаболизма, на ранней фазе развития растения, с увеличением селективности к токсиканту сорбционных мест корневых систем.

Так, например, древесные культуры накапливают в своих кронах элементы питания и токсиканты не только в зависимости от их содержания в воздухе, но и от содержания их активных форм в почвах, селективности корневых систем и особенностей процессов метаболизма. При этом, древесные культуры имеют более длительный жизненный цикл, по сравнению с травянистым. Токсикант в них многократно включается в процессы метаболизма и в большей степени может накапливаться. В связи с этим, древесные породы и культуры начинают угнетаться при более низких концентрациях токсикантов в почвах.

При воздействии на растения нескольких факторов деградации отмечается их взаимовлияние, обусловленное не только эффектами аддитивности, синергизма и антагонизма, но и более сложными взаимодействиями. По Куркину К.А., интегральное действие на организм совокупности экологических факторов осложнено явлениями монодоминантности, синергизма, антагонизма и провокационности их совместного действия. Монодоминантность возникает, если один из факторов, находясь либо в минимуме, либо в максимуме оказывает столь сильное воздействие, что подавляет влияние всех остальных факторов. Провокационность характерна для сочетания стимулирующих воздействий с летальными и заключается в том, что отрицательные эффекты усиливаются.

Для любых биологических объектов имеются определенные пределы устойчивости, при переходе через которые система скачкообразно меняет свойства и может вообще прекратить существование. В обобщенном виде, предельно допустимые уровни (концентрации) воздействия токсикантов на биологический объект могут считаться более высокими при образовании в растворе ассоциатов токсикантов, гидроксикомплексов, осадков, при закреплении их в ППК, при образовании комплексов с большой молекулярной массой, при наличии в растворе ионов, конкурирующих с ионами токсиканта за поступление в растения; при малом времени жизни объекта, при малой скорости в нем процессов метаболизма, при большой толерантности биоты к токсиканту, при малой селективности к нему поглотительных систем. Увеличение действия на биосистему и, поэтому уменьшение предельно допустимого уровня воздействия, будут отмечаться при большой продолжительности жизни объекта, при большой скорости в нем процессов метаболизма, в которые включается токсикант, при образовании в почвенном растворе комплексов токсиканта с малой молекулярной массой и зарядом, легче поступающих в растения; при увеличении активности токсиканта в почвенном растворе.

# Обратимость деградационных изменений почв

Обратимость деградационных изменений почв зависит от степени их деградации, от вида деградации, от буферных свойств конкретных почв, агрофитоценозов, ландшафтов; от внешних условий, от проявления других видов деградации. Выделяют пять категорий степени обратимости деградации почв: 1) легкая степень обратимости, требующая простейших агротехнических мероприятий или снятия определенной нагрузки; 2) средняя степень обратимости, требующая специальных, более дорогоятоящих мероприятий, существенной смены характера использования почвы; 3) затрудненная обратимость, при которой необходимо проведение комплекса сложных и длительных рекультивационных мероприятий, строительство капитальных сооружений, и даже принципиальная смена системы использования почвы не всегда возможна; 4) тяжелая степень обратимости, при которой восстановить свойства исходной почвы невозможно, но можно создать искусственную почву, обладающую плодородием; 5) необратимая деградация почв (Габбасова И.М., 2001).

При сельскохозяйственном использовании деградация отмечается, в большей степени, в том случае, когда сначала почва окультурена, внутренние связи в ней и связи с другими компонентами экосистемы нарушены, а затем поддержка плодородия на новом уровне, за счет внесения вещества и энергии, прекращается. Задача состоит в том, как в замедлении процессов деградации, так и в поддержании новых условий поступления вещества и энергии в систему с целью ее приближения к новым условиям термодинамического равновесия. Для оптимизации экологической обстановки при деградации почв более эффективно изменять причину, а не следствие. Однако, первопричины деградации, в большинстве случаев, зависят от уровня ведения производства, и их устранить сложно. В этом случае стараются изменить следствие более высокой иерархической подчиненности, которое само является причиной многих последовательных деградационных изменений почв.

Возможны и другие варианты оптимизации обстановки: 1) компенсирование деградационного воздействия другими воздействиями; 2) увеличение буферности почв к деградации – связывая образующиеся токсичные продукты, увеличивая буферную емкость почв; 3) увеличение самовосстанавливающей способности почв, активизируя соответствующие функции (разные для определенных видов и степеней загрязнения и т.д.); 4) усиление сопротивляемости почв сопутствующим видам деградации, т.к. чаще деградация под влиянием одного фактора усиливает деградацию под влиянием другого фактора; 5) усиление сопротивляемости деградации других компонентов экосистемы (рельефа, пород, растительности).

Суть восстановления загрязненных экосистем – максимальная мобилизация внутренних ресурсов экосистемы на восстановление своих первоначальных функций. Самовосстановление и рекультивация представляют собой неразрывный биогеохимический процесс (Глазовская М.Ю., Пиковский Ю.И., 1985). В ряде случаев, если один параметр системы почва-растение выходит за рамки оптимума, то для его регулирования можно использовать оптимизацию других свойств почв.

**6. Экологическая оценка водной и ветровой эрозии почв**

# Значимость проблемы

Основные деструктивные процессы в почвах, их физическая деградация связаны, в первую очередь, с проявлением водной и ветровой эрозии. При этом важно оценивать, наряду с фактической эродированностью почв, потенциальную подверженность их эрозионным процессам и условия проявления эрозии. Развитие водной и ветровой эрозии почв приводит к уничтожению пахотных земель, переходу части земель в разряд оврагов и балок, к падению плодородия почв, к уменьшению биопродуктивности угодий, к потере элементов питания, к нарушению экологической ситуации.

Как указывают Каштанов А.Н. и Явтушенко В.Е. в России подвержено эрозии почти четверть сельскохозяйственных угодий, что составляет более 50 млн. га. В 1990 году 30,4% сельскохозяйственных угодий были отнесены к дефляционно-опасным землям, 18,6% - к землям, подверженным водной эрозии и 1,5% - к землям, которые подвержены одновременно и водной и ветровой эрозии. Для пахотных земель эти значения еще больше, соответственно 35,0; 20,5 и 1,7%. Около половины площадей сельскохозяйственных угодий России размещено на полях с уклоном более 10. Только на эродированных землях ЦЧЗ недобор продукции растениеводства ежегодно составляет в пересчете на зерно 12,2 млн. тонн (Иванов, 1985). С полей и пастбищ бывшего СССР ежегодно сбрасывается 3330 км3 поверхностных вод и смывается 2-3 млрд. тонн мелкозема, а с ним теряется около 100 млн. тонн гумуса, 5-4 – азота, 1,8 – фосфора, 36 – калия, в том числе 460 тыс. тонн нитратного и аммиачного азота, 240 – подвижного фосфора и 480 тыс. тонн – обменного калия.

Расчеты Явтушенко В.Е. и Каштанова А.Н. (1997) показывают, что стоимость потерь питательных веществ, вследствие почвенной эрозии, в среднем по стране составляет более половины стоимости минеральных удобрений, ежегодно поставляемых химической промышленностью сельскому хозяйству до 1991 года. С учетом потерь гумуса ущерб от эрозии равняется стоимости минеральных удобрений, применяемых в хозяйствах. Для сравнения, в США при ежегодном смыве почвы в 17 т/га потери элементов питания из почвы составляют 8 млрд. долларов в год. При этом, туковая промышленность страны поставляет фермерским хозяйствам минеральных удобрений на сумму 9 млрд. долларов (Mc.Cullough, Weiss, 1985).

Ветровая эрозия почв также очень разрушительна. Пыльные (черные) бури, особенно в засушливых районах страны, нередко губят посевы на больших площадях. Так, например, в 1960 году при скорости ветра 28 метров в секунду на Украине и в Крыму было повреждено около миллиона гектаров посевов, из которых полностью погибло и было пересеяно 600 тысяч га. В районах Казахстана 11,9 млн. га малоустойчивы к ветровой эрозии. Эрозионно-опасные земли в отдельных областях составляют 40% пашни. Приведенные примеры свидетельствуют о большой народнохозяйственной значимости проблемы эрозии почв.

# Водная эрозия почв

Водная эрозия – процесс ее разрушения под действием поверхностного стока воды. До активного антропогенного воздействия на ландшафты интенсивность эрозии была соизмерима со скоростью почвообразования. Такая эрозия названа нормальной. При вовлечении земель в сельскохозяйственный оборот интенсивность данного процесса многократно возросла, что определило ее название – ускоренная или современная. Различают эрозию смыва (плоскостную), размыва (овражную) и ирригационную. Проблемами, возникающими при развитии эрозии являются: уничтожение земель, падение плодородия, нарушение экологической ситуации, падение урожая сельскохозяйственных культур.

Причинами развития водной эрозии являются кинетическая энергия дождя и потенциальная энергия стекающей по склону воды. Дождь, в большей степени, вызывает развитие эрозии почв при выпадении ливневых осадков и не влияет на развитие эрозии в случае моросящих дождей. Энергия стекающей по склону воды определяет эрозию в тем большей степени, чем круче и длиннее склон. При таянии снега развитие эрозии дополнительно определяется скоростью его таяния, на что влияет экспозиция склона. При развитии ирригационной эрозии потери почв зависят от энергии стекающей воды, скорости и длительности течения.

Устойчивость почв к водной эрозии зависит от типа почв, гранулометрического состава, структуры, гумусированности, покрытия травостоем, водопроницаемости, базиса эрозии, длины и крутизны склона, его экспозиции, развития корневых систем растений, покрывающих почву. Универсальное уравнение потерь почвы в результате развития водной эрозии имеет следующий вид: Q = 0,224 . RKLSCP, где Q – потери почвы от эрозии, кг/м2 в год; R – характеристика эродирующей способности дождя, учитывающая интенсивность, кинетическую энергию и т.д.; К – коэффициент эродированности почвы (учитывает водопроницаемость и противоэрозионную стойкость почвы); L – коэффициент длины склона (отношение потерь почвы с данного поля к потерям с поля стандартной длины); S – коэффициент крутизны склона (отношение потерь почвы с данного поля к потерям со клона стандартной крутизны); С – коэффициент возделывания культуры (отношение потерь почвы с данного поля, занятого культурой, к потерям почвы черного пара); Р – коэффициент эффективности отдельных противоэрозионных мероприятий.

При качественной оценке развития водной эрозии учитывается, что она интенсивнее протекает на почвах тяжелого гранулометрического состава. Учитывается степень эрозионной опасности склонов: прямой – 1; выпуклый 1,25-1,50; вогнутый – 0,5-0,75. Интенсивная эрозия развивается, как правило, на склонах более 2-30. Однако, это зависит от климатических условий и степени устойчивости к эрозии конкретных почв. Для таежно-лесной зоны считается, что при уклоне 1-30 эрозия не проявляется; при 2-30 – необходимо ограничение доли пропашных культур; 3-50 – необходимо исключить возделывание пропашных культур. При 5-80 вводят почвозащитные севообороты; при уклоне более 80 применяют сенокосно-пастбищное использование земель.

# Изменение свойств почв

Развитие эрозии сопровождается потерями почвы, уменьшением гумусированности, микробиологической активности, содержания доступных форм элементов питания, ухудшением водного и воздушного режимов, физических свойств почв, разрушением поверхности почв, уменьшением мощности пахотного слоя, обнажением корней, намывом почв в пониженных элементах рельефа, расчленением рельефа. Потери почвы за один полив, за счет проявления ирригационной эрозии, могут достигать, по Кузнецову М.С., 100 т/га. По данным Кудеярова В.Н. и др. (1984), с 1 мм смытой почвы с гектара выносится 10-20 кг азота, 10 – фосфора и 100-200 кг связанного углерода.

Почвы на склонах южных экспозиций, по сравнению с северными, характеризуются, как правило, большей эродированностью, меньшей мощностью гумусового горизонта, более интенсивными процессами минерализации органического вещества и азота. На холодных склонах северных экспозиций наблюдается снижение рН и повышение гидролитической кислотности, по сравнению с южными. Например, в пахотном слое типичного чернозема отмечены следующие значения рН: на водораздельном плато – 5,7; на склоне северной экспозиции – 5,5; на склоне южной экспозиции – 6,2 (Кирюшин В.И.).

По данным Трегубова П.С. и Шуриковой В.И. (1981), сумма водопрочных агрегатов снижается в выщелоченных черноземах с 65-70% в несмытых до 50% - в слабо и среднесмытых и до 30-40% - в сильно смытых почвах; в дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках – с 33-41% до 6-7%. Общая порозность от несмытых к сильносмытым почвам уменьшается в дерново-подзолистых почвах на моренном суглинке с 43-46 до 36-41%; на лессовидном суглинке с 48-52 до 21-49%; в выщелоченных черноземах с 61 до 48%. Водопроницаемость в средне и сильносмытых почвах снижается на 40-50%.

В то же следует отметить, что при развитии эрозии почв на поверхность выходят нижележащие горизонты, свойства которых в разных типах почв неодинаковы. Например, при эрозии подзолистых почв ближе к поверхности подходит и подпахивается горизонт А2, что сопровождается подкислением почв и уменьшением содержания в них элементов питания, облегчением гранулометрического состава. При эрозии каштановых почв ближе к поверхности подходят карбонатные горизонты, что сопровождается подщелачиванием почв. Так как горизонты А2 и В в разных типах почв существенно отличаются по своим свойствам, то при слабой эродированности почв (когда идет подпашка А2) и при сильной эродированности (когда идет подпашка В) изменения свойств почв неодинаковы. Указанное определяет тот факт, что для всех типов почв и разных степеней развития эрозии изменения свойств почв будут неодинаковы. Приводимые в литературе закономерности правомочны только для определенных конкретных регионов (типов почв).

На слабосмытых почвах недобор урожая, в среднем, составляет 10-20%, на среднесмытых – 40-60%, на сильносмытых – более 80%.

### Предельно допустимый смыв почв

Согласно Заславскому М.С., по степени развития поверхностной эрозии выделяют следующие градации: незначительный смыв – 0,5 г/га в год; слабый – 0,5-1,0; средний – 1,0-5,0; сильный – 5-10; очень сильный – более 10 т/га в год. По степени развития линейной эрозии выделяют следующие градации: слабая – среднегодовой прирост оврагов менее 0,5 м; средняя – 0,5-1,0; сильная – 1,0-2,0; очень сильная – 2-5; чрезвычайно сильная – более 5 м в год.

Очевидно, что допустимый смыв почв определяется типом почв и скоростью образования гумусового горизонта почв. Это иллюстрируется данными следующей таблицы.

Таблица 6

Среднегодовой предельно допустимый смыв почвы, т/га (Кузнецов М.С.,

Глазунов Г.П., 1998)

Почвы : Степень смытости

:----------------------------------------------------------------------------

:несмытые и слабосмытые: среднесмытые : сильносмытые

дерново-подзолистые,

светло-серые лесные 2,0 1,5 1,0

серые и темно-серые,

черноземы, темно-каштановые 2,0 2,0 1,5

каштановые, светло-каштановые,

сероземы 1,5 1.5 1,0

По обобщенным многолетним данным, среднегодовые размеры смыва почвы с зяби на дерново-подзолистых почвах варьируют от 0,1 до 13,6 т/га (в среднем, 2,7 т/га); на серых лесных почвах от 0,5 до 44,2 (7,6); на черноземах от 0,1 до 34,7 (5,1) и на каштановых почвах – от 0,2 до 7,7 т/га (4,1 т/га) (Иванов, 1985). Однако, в отдельные многоводные годы, особенно при сильных ливнях, на участках без растительности может смываться до 100 т/га.

Эрозионные потери определяются стоком воды и смывом почвы. Сток воды зависит от климата (температуры, осадков, инсоляции), рельефа (морфометрии, экспозиции склонов), растительности, почв. Смыв почвы зависит от свойств почв, агроландшафта (пашня, пастбище, сады и т.Д.); организации территории хозяйства, агрофона (вспашки, орошения, доли многолетних трав); противоэрозионных мероприятий (агромелиоративных, агро- и гидротехнических).

### Пути оптимизации обстановки

Для предупреждения поверхностной эрозии при дождях и снеготаянии применяют: 1) выделение эрозионных фондов и правильное размещение севооборотов (полевых, почвозащитных, кормовых) с расположением полей, обеспечивающим проведение всех видов обработок почвы в направлении, близком к горизонталям; 2) ограничение степени освоения территории; 3) правильное размещение сети лесонасаждений, дорог, а также простейших гидротехнических сооружений. Правильное размещение на пашне сельскохозяйственных культур с учетом их почвозащитных свойств включает введение промежуточных культур, полосное размещение культуры на склоне, почвозащитные севообороты. Требования к севооборотам в отношении их почвозащитности усиливаются в нижних частях выпуклых и прямых склонов, в средних частях на выпукло-вогнутых, несколько выше середины склона – на выпуклых. В Нечерноземной зоне на полях, занятых озимыми культурами, потери питательных веществ со смывом почвы сокращается примерно в 2 раза, а на полях с многолетними травами в 10 раз и более.

Противоэрозионная обработка почв состоит в обработке почвы и посеве культур в направлении, близком к горизонталям; в глубокой вспашке и вспашке с почвоуглубителем, в лунковании, в прерывистом бороновании, в обваловании, в поделке водоотводных борозд, в глубоком полосном рыхлении почвы; в ступенчатой вспашке, щелевании, снегозадержании, мульчировании (Кузнецов М.С., Глазунов Г.П., Григорьев В.Я.). На снижение смыва почвы особенно сильное влияние оказывают безотвальные и другие способы противоэрозионной обработки почвы. Плоскорезная обработка, в сравнении с отвальной вспашкой, снижает смыв почвы в маловодные годы, в среднем, в 3-8 раз; в нормальные – в 2,5; в многоводные – в 2 раза (Светличный, Швебс, 1984).

На склонах одинаковой экспозиции почвы разной степени эродированности чаще всего существенно различаются по обеспеченности минеральным азотом, соответственно возрастает необходимость применения повышенных доз азотных удобрений на средне и сильноэродированных почвах. Эта потребность входит в противоречие с усилением потерь азота удобрений в результате смыва. Поэтому технологии возделывания сельскохозяйственных культур на эродированных почвах должны предусматривать тщательную заделку удобрений, экологические ограничения их доз и сокращение стока. Повышение урожайности растений на этих почвах способствует повышению их устойчивости к эрозии за счет лучшего развития растений, их корневых систем и большего количества растительных остатков. В целом, в сложных эрозионных ландшафтах требуется весьма гибкая система удобрений, учитывающая разнообразие элементов рельефа и их морфологических характеристик, степень смытости почвы, сток, литологические условия, с тем, чтобы не допустить смыва питательных веществ сверх экологически допустимых норм (Кирюшин В.И.).

Простейшие гидротехнические сооружения для борьбы с водной эрозией включают валы – террасы, ступенчатые террасы, траншейные террасы, распылители стока, водозадерживающие валы, водоотводные валы – канавы. Для борьбы с оврагами применяют вершинные водосборные сооружения, донные сооружения (запруды), засыпку оврагов и выполаживание их откосов.

По способности к противоэрозионной защите почв культуры подразделяются следующим образом: очень хорошая – многолетние бобовые и злаковые; хорошая – зерновые колосовые, однолетние кормовые, лен; средняя – однолетние бобовые; слабая – кукуруза, подсолнечник, картофель, свекла и т.д. По Кузнецову М.С., пропашные культуры почти не снижают проявление эрозии; зернобобовые снижают ее в 1,2 раза; зерновые – в 1,3; бобовые – в 1,7; злаково-бобовые смеси – в 2,2; луговые травы – в 3 раза.

Следует отметить, что выбор противоэрозионных мероприятий определяется не только уклоном поверхности, но также гранулометрическим составом, типом почв (устойчивостью отдельных почв к эрозии), гидротермическим режимом территории и, в частности, количеством выпадающих осадков и их интенсивностью.

Для районирования территории по опасности ирригационной эрозии необходимы картограммы водопроницаемости почв, уклонов поверхности, донных размывающих скоростей потока. После наложения друг на друга указанных картограмм выделяют районы, отличающиеся друг от друга, хотя бы по одному признаку. Далее для каждого района рассчитывают возможные потери почвы с верхнего 50-метрового участка при поливных нормах, рассчитанных по водопроницаемости почв. Расчет проводится на число поливов, необходимых по агротехническим требованиям. Для каждого района рассчитываются мероприятия, необходимые для снижения смыва до допустимого уровня.

Для предупреждения ирригационной эрозии почв применяют полив по «скошенным», «контурным» и «фигурным» бороздам, мульчирование поливных борозд, обработку почвы полимерами - структурообразователями.

### Ветровая эрозия почв

Ветровая эрозия почв делится на два основных подтипа: пыльные (черные) бури и повседневную (местную) ветровую эрозию. Пыльные, или черные, бури повторяются раз в 3-20 лет. Они бывают при очень сильных ветрах, передвигающих мелкие почвенные частицы в воздушном потоке. Во время таких бурь на отдельных участках ветер за короткое время (1-2 дня) сносит значительный слой суглинистой распыленной почвы мощностью от 1 до 25 см и губит посевы на десятках и даже сотнях тысяч гектаров. Территория, которая подвергается воздействию черных (пыльных) бурь порой охватывает ряд областей. Такие бури проносятся в степях обычно ранней весной, когда растения еще не окрепли, а пашня лишена густого зеленого растительного покрова. Сильные ветры несут массу черной пыли, получившейся в результате разрушения бесструктурных пахотных горизонтов черноземов и каштановых почв. Повседневная (местная) ветровая эрозия почв проявляется без пыльных бурь. Особенно сильно она действует на склонах, испытывающих удары ветра.

Ветровая эрозия почв развивается при скорости ветра более 11 м/сек (для торфяных почв более 5 м/сек), в районах развития пыльных бурь скорость ветра достигает 16-40 м/сек. Дефляция, в большей степени, развивается на почвах легкого гранулометрического состава, на сухих почвах, на ветроударных склонах, на участках почв, не защищенных от ветра растительностью. На основании почвенных карт выделяют участки, подверженные дефляции (слабой, средней и сильной степени эродированности); эрозионно-опасные почвы песчаные, супесчаные и легкосуглинистые на ветроударных склонах. Сопоставление по агроклиматическим справочникам влажности почв в отдельные декады и скорости ветра в эти же периоды позволяет прогнозировать развитие дефляции на конкретных территориях в разные временные интервалы.

### Устойчивость почв к развитию ветровой эрозии

Разные типы почв в неодинаковой степени устойчивы к развитию ветровой эрозии. Для прогнозирования ветровой эрозии применяется «уравнение ветровой эрозии»: Q = f (E.I.K.C.L.V), где Q – возможные потери почвы от ветровой эрозии в год с единицы поверхности; Е – дефлируемость почв, зависящая от ее комковатости, гранулометрического состава, наличия почвенной карты и т.д., I – коэффициент крутизны склона, К – коэффициент бороздковой шероховатости, С – климатический индекс ветровой эрозии почв, зависящий от скорости ветра и влажности почв, L – длина незащищенной части поля в направлении ветра, V – почвозащитный эквивалент растительного покрова и растительных остатков.

Устойчивость почвы против дефляции можно оценить по комковатости поверхности, то есть по наличию ветроустойчивых комочков (крупнее 1 мм) в слое 0-5 см, выраженному в процентах от воздушно-сухой почвы. При содержании этих комочков менее 50% наступает процесс выдувания. Порог устойчивости почвы к дефляции, если на поверхности ее нет пожнивных остатков, характеризуется степенью комковатости в пределах 50-55%. Картина существенно меняется в зависимости от наличия на поверхности почвы пожнивных остатков. Зависимость между эродированностью, комковатостью и количеством стерни выражается уравнением: Q = 10a – bk – cs, где Q – эродируемость почвы (в г за 5 минут экспозиции); К – комковатость слоя 0-5 см (%), S – количество условной стерни (в шт/м2), a, b, c – коэффициенты, значения которых различаются для разных типов почв. По данным Шиятого Е.И., для южного карбонатного чернозема изменение комковатости на 1% по значимости влияния на эродируемость равнозначно изменению количества условной стерни на 8-10 шт/м2.

### Изменение свойств почв при дефляции

Развитие эрозии почв является нарушением экологического состояния системы и приводит 1) к изменению свойств почв – изменению гранулометрического состава, физико-химических свойств, агрохимических свойств, ферментативной и микробиологической активности, водно-физических свойств; 2) к изменению микро- и мезорельефа; 3) к изменению состава грунтовых вод, верховодки, состава газовой фазы приземного слоя воздуха, изменению степени гидроморфности территории; 4) к изменению состояния растений, их химического состава; 5) к изменению оптимумов плодородия.

Все указанные изменения системы почва – растение – окружающая среда взаимосвязаны. При этом, вред от ветровой эрозии сводится не только к разовой потере урожая, но и к разрушению почвы, к необратимому снижению ее плодородия.

### Пути оптимизации обстановки

Задача определения оптимальных параметров противодефляционных мероприятий сводится к определению таких значений управляемых параметров U(t) при заданных значениях неуправляемых параметров V(t), которые обеспечили бы минимум податливости почв, т.е. Q(t) = f [V(t), U(t)] → min; или Q(t) = f (V, W, g, gГ, gN, gX, gS, gC), где Q – податливость почвы ветровой эрозии, т/га . час; V – скорость ветра, м/сек; W – влажность почвы, %; g – содержание физической глины в почве, %; gГ – гумус, %; gN – сухой остаток, %; gX – хлор-ион, %; gS – сульфаты, %; gC – карбонаты, %.

Сформулированная задача решается методом случайного поиска. Математическая модель позволяет прогнозировать дефляционные процессы при учете таких свойств почв, как механический состав, влажность почвы, содержание гумуса, карбонатов, вредных водорастворимых солей. Модель учитывает многофакторность развития эрозии, взаимосвязь между эффектом от воздействия отдельных факторов.

Для разработки наиболее эффективных путей уменьшения эрозии, повышения урожая необходима оптимизация всех параметров системы в их взаимосвязи. Необходима оптимизация экологической системы и состояния биогеоценоза при комплексном воздействии. 1. В зависимости от типов почв, свойств почв (луговых, лугово-сазовых, пустынных песчаных, луговых аллювиальных, серо-бурых). 2. При воздействии на свойства почвы, изменяя их емкость и структуру при внесении погребенных почв, выброс из коллекторно-дренажных вод. 3. При воздействии на напочвенный покров (подбор состава и структуры лесных полос, кулисных посевов, густоты стояния посевов). Для предупреждения дефляции почв применяют почвозащитные севообороты: полосное расположение посевов, мульчирование, посев промежуточных культур, кулисы, травосеяние, почвозащитную систему механической обработки, борьбу с сорняками и закрытие влаги, совмещение операций и минимальную обработку, агромелиоративные мероприятия.

**7. Экологическая оценка засоления и осолонцевания почв**

# Значимость проблемы

Общая площадь учтенных засоленных земель России составляет 38,4 млн. га (19,9% всех сельхозугодий).

Засоленные и солонцовые почвы являются, как правило, неотъемлемой частью в структуре почвенного покрова зоны сухих степей и, в значительной степени, определяют урожай сельскохозяйственных культур. Без мелиорации засоленных и солонцовых почв получение высоких устойчивых урожаев на почвах солонцового комплекса невозможно. Наличие пятен солонцов и засоленных почв на значительной части пашни ограничивает возможность освоения современных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Тем самым снижается эффективность использования преобладающих зональных почв комплексов.

# Деградация экологической системы при засолении и осолонцевании почв

Засоление и осолонцевание почв приводит к существенному ухудшению плодородия почв. Засоление почв обусловлено накоплением в почве большого количества водорастворимых солей катионов Ca, Mg, K, Na и анионов Cl, SO4, CO3, HCO3, NO3. Высокая концентрация солей создает высокое осмотическое давление (больше 16 атм), которое не выдерживают растения и отдельные представители биоты. Как правило. негативный эффект имеет концентрация водорастворимых солей более 0,25% от веса почвы, а токсичной – концентрация более 1, 2, 3%, в зависимости от типа засоления. Токсичной для биоты является и высокая концентрация отдельных солей (катионов и анионов), что указано в приводимых в тексте таблицах. Наличие в почве солей слабых кислот (угольной, борной, кремниевой) и сильных оснований (К, Na) приводит к возникновению сильно щелочной реакции среды (рН=9-11), неприемлемой для живых организмов.

Миграция высокой концентрации солей и щелочных продуктов в другие компоненты экологической системы (как по воздуху, так и через грунтовые воды) приводит к их деградации. Таким образом, основным неблагоприятным свойством засоленных почв является высокая концентрация солей и в отдельных случаях – щелочность. Деградация компонентов экологической системы обусловлена уменьшением биопродуктивности, развитием засоления. опустынивания, повышенной миграцией в грунтовые воды при щелочной реакции среды натрия, органического вещества, НСО3. Осолонцевание почв обусловлено увеличением в поглощенном состоянии натрия и магния выше допустимых пределов, что вызывает диспергирование почв, значительное увеличение их плотности до 1,7-1,9 г/см3 (при оптимуме 1,0-1,2), потерю водопроницаемости, возникновение щелочной реакции среды. Часть солонцовых пятен находится под вечным паром, пополняя грунтовые воды нитратами, которые, не используясь растениями, накапливаются в почвогрунтах, вследствие чрезмерной минерализации гумуса. Деградация компонентов экологической системы обусловлена уменьшением биопродуктивности, значительной миграцией в грунтовые воды и пониженные элементы рельефа натрия, водорастворимого органического вещества, солей, развитием опустынивания почв и, в отдельных случаях, анаэробиозиса.

# Оценка степени засоленности почв

К засоленным почвам относятся почвы, содержащие в своем составе легкорастворимые соли в токсичных для сельскохозяйственных растений количествах. Они оказывают прямое отрицательное воздействие на растения в результате повышения осмотического давления почвенных растворов и токсичного действия отдельных ионов, а также косвенное влияние через изменение физико-химических, биологических и других свойств под их влиянием. Наибольший токсический эффект проявляют сода, затем хлорид, далее бикарбонаты натрия и магния и затем сульфаты натрия и магния. Гипс, так же как и карбонат кальция (в отличие от токсичного карбоната магния), не ядовит, однако, присутствие его в больших количествах (гипсовые коры) приводит к понижению плодородия почвы.

По глубине залегания верхней границы солевого горизонта засоленные почвы разделяются на солончаковые – соли в слое 0-30 см, солончаковатые – 30-80 см, глубоко солончаковатые – 80-100 см и глубокозасоленные – глубже 150 см. Содержание солей выражается в % и в мг-экв на 100 г почвы. В первом приближении, засоленными считаются почвы, содержащие водорастворимых солей более 0,25% от веса почвы, а солончаками – более 1, 2, 3% в зависимости от типа засоления. При более точной экологической оценке засоления почв учитывают характер засоления (преобладающий химический состав катионов и анионов), а при еще более детальной оценке – сумму токсичных солей.

Если принять токсичность ионов хлора за 1, то соотношение ионов по токсичности можно выразить следующим рядом: 1Cl- = 0,1CO32- = (2,5-3,0)HCO3- = (5,0-6,0)SO42- (при этом учитываются только токсичные ионы, остающиеся после вычитания из данных водной вытяжки сульфата и бикарбоната кальция). Хлоридный тип засоления обычно свойственен почвам прогрессивного соленакопления, хлоридно-сульфатный – почвам перемежающегося засоления, а сульфатный – ряду рассоления (если последующий сопровождается аккумуляцией гипса).

Химизм (тип) засоления почв определяется, главным образом, по соотношению анионов в этих горизонтах, хотя учитывается и соотношение катионов. Оценка степени засоления почвы производится по содержанию токсичных солей в этих же горизонтах. Если в солончаковых почвах отмечается очень сильное засоление, они относятся к солончакам

Таблица 7

Классификация почв по содержанию солей в зависимости от химизма засоления

(токсичные соли, %)

Степень : Химизм засоления

засоления :-----------------------------------------------------------------------------------------------------------

почв : нейтральное засоление рН<8,5 : щелочное засоление рН>8,5

:---------------------------------------------------------------------------------------------------------

:хлоридный, :хлоридно- : сульфатный :хлоридно- :сульфатно- :сульфатно-

:сульфатно- :сульфатный : :содовый и :содовый и :хлоридно-

:хлоридный : : :содово-хло- :содово-суль- :гидрокарбо-

: : : :ридный :фатный :натный

пороги токсичности

незасоленная

почва 0,05 0,1 0,15 0,1 0,15 0,15

слабая 0,05-0,12 0,1-0,25 0,15-0,30 0,10-0,15 0,15-0,25 0,15-0,30

средняя 0,12-0,35 0,25-0,50 0,30-0,60 0,15-0,30 0,25-0.40 0,30-0,50

сильная 0,35-0,70 0,50-1,03 0,60-1,53 0,30-0,50 0,40-0,60 не встр.

очень сильная 0,70 1,0 1,5 0,5 0,60 не встр.

1 – сумма токсичных солей равна сумме токсичных солей, выраженных в %:

STOK % = [Cl+Na+Mg+SO4 TOK+HCO3 TOK]%. Ионы хлора, натрия и магния относятся к категории токсичных целиком; НСО3 ТОК = НСО3 ОБЩ – СаSO4 TOK = SO4 ОБЩ – (Са-НСО3). Расчет суммы токсичных ионов проводится в мг-экв, затем эти ионы переводятся в проценты и суммируются.

2 – показатели по сумме токсичных солей при хлоридно-сульфатном и сульфатном типах засоления для категории сильно- и очень сильно засоленных почв округлены для удобства использования до 1,0-1,5%. Величина содового засоления оценивается по показателям хлоридно-содового.

Очевидно, что воздействие конкретных солей на почву и растения определяется как свойствами почв, так и экологическими особенностями растений, зависит от состояния почв и растений, климатических условий. Поэтомуоценка степени засоления почв по содержанию в них токсичных солей также является, в значительной степени, условной. На отдельных почвах определенные растения гибнут уже при низкой концентрации солей, на других почвах растения выдерживают высокую концентрацию солей. Основным критерием оценки солевого режима почв является состояние выращиваемых на них сельскохозяйственных культур. По этому показателю почвы делятся на 5 групп.

Таблица 8

Степень засоления почв и урожайность растений (Базилевич И.И.,

Панкова Е.И., 1968)

Степень засоления почв : Состояние растений :Урожай, % от устойчивого на

: :незасоленных почвах

незасоленные хорошее 100

слабозасоленные слабо угнетенное 80

среднезасоленные угнетенное 50

сильнозасоленные сильно угнетенное 30

очень сильнозасоленные очень сильно угнетенное или полная гибель 0-10

В то же время разработаны шкалы устойчивости к засолению отдельных культур и сортов растений.

Для оптимизации экологической обстановки на засоленных почвах применяют их промывку (если есть условия для сброса промывных вод), орошение, увеличение емкости поглощения почв и их гумусированности. Концентрация почвенного раствора в засоленных почвах достигает 20-30, а иногда 300-400 г/л. Поэтому полив даже минерализованной водой до 3-8 г/л существенно снижает концентрацию солей в почвенном растворе и благоприятно действует на развитие растений.

Эффективный способ снижения засоленности почв – возделывание на них растений, способных поглощать 20-50% солей в расчете на массу сухого вещества. К таким растениям относятся пырей удлиненный, донник, лядвенец, полевица и др.

### Оценка степени солонцеватости почв

Солонцы и солонцовые почвы довольно широко распространены в нашей стране. Для мелиоративной их характеристики необходимо учитывать такие показатели, как комплексность почвенного покрова, тип и степень засоления почв, мощность надсолонцового и солонцового горизонтов, содержание обменного натрия и соды, емкость поглощения, глубину залегания карбонатов и гипса. В первую очередь, они характеризуются степенью солонцеватости – долей обменного натрия от емкости поглощения почв:

Na% = [Na/(Na+S)]100. При этом показателе до 10% выделяются остаточные солонцы; 10-25% - малонатриевые; 25-40% - средненатриевые; более 40% - многонатриевые. Для развития сельскохозяйственных культур допустимо, когда этот показатель 5-10%, в зависимости от свойств почв. Чем больше степень солонцеватости, тем хуже в агрономическом и экологическом отношении данная территория.

Засоленные почвы и солонцы, как правило, обладают повышенной щелочностью. Актуальная щелочность обусловлена наличием в растворе гидролитически щелочных солей Na2CO3, NaHCO3, Ca(HCO3)2 и др. В актуальной щелочности выделяют щелочность от нормальных карбонатов СО32-, бикарбонатов НСО3-, боратов, силикатов и общую щелочность. Потенциальная щелочность обнаруживается из почв, содержащих поглощенный натрий. При содовом засолении почв почвенный поглощающий комплекс насыщается обменным натрием до 50-70% от емкости поглощения, реакция почвенного раствора достигает рН=9-11, теряется комковатая структура, почва становится глыбистой и плотной. По рН почвенного раствора или водной вытяжки выделяют слабощелочную реакцию среды рН=7,2-7,5; щелочную – рН=7,6-8,5 и сильнощелочную реакцию – рН более 8,5. Чем выше щелочность, тем в агрономическом и экологическом отношении почва хуже. Это иллюстрируется данными следующей таблицы.

Таблица 9

Влияние щелочности на урожай пшеницы (Зимовец Б.А., 1991)

Степень щелочности: рН(Н2О) :Токсичная щелочность: Биологический :Потери урожая

: : НСО3-Са),мг-экв/100г: урожай пшеницы

: : : т/га :

нещелочные < ,5 < 0,7 25-30 0

слабощелочные 7,5-8,5 0,7-1,0 20-25 0-20

среднещелочные 8,6-9,0 1,1-1,6 15-20 20-40

сильнощелочные 9,1-9,5 1,7-2,0 10-15 40-60

очень щелочные > 9,5 > 2,0 >10 > 60

Качество почв ухудшается с уменьшением мощности надсолонцового горизонта, с увеличением мощности солонцового горизонта, с увеличением доли засоленных почв в структуре почвенного покрова.

### Приемы мелиорации солонцовых почв

Для улучшения солонцовых почв применяются различные виды мелиораций. Наиболее часто используют: 1) химическую мелиорацию – внесение в почву соединений, вызывающих коагуляцию почвенных частиц и улучшение водно-физических свойств; 2) биологическую мелиорацию – выращивание солеустойчивых и солонцоустойчивых растений (бекмании, житняка, земляничного клевера); при этом с укосом из почвы выносятся соли и натрий; 3) фитомелиорацию – запашку в почву зеленых растений; 4) агробиологическую мелиорацию, включающую глубокую мелиоративную обработку с рыхлением иллювиального горизонта; влагонакопление с введением черных и кулисных паров, снегозадержания, полезащитных лесных полос и орошения; внесение органических и минеральных удобрений; рыхление почв с целью их пересыхания в летний период и промораживания в зимний период, что способствует повышению концентрации электролитов в почвенном растворе и коагуляции почв; 5) электромелиорацию.

Следует отметить, что почвы развиваются в направлении достижения равновесия с окружающей средой. Очаги выноса на поверхность солей – образование солонцов и солончаков обусловлены существующими потоками вещества и энергии в ландшафте. В связи с этим, локальная мелиорация не устраняет причин образования засоленных почв и через несколько лет они развиваются вновь. При коренной переделке рельефа и водного режима существующие потоки соленых вод выклиниваются на соседних территориях. С экологической точки зрения, очаги развития засоленных почв на поверхности представляют собой конуса выноса токсикантов, конечные точки существующих в природе потоков. Разумнее их оставить без изменения, направив большие усилия на повышение плодородия более ценных в агрономическом отношении почв. При небольших участках таких почв в пределах поля такой мелиорацией все-таки приходится заниматься.

При планировании мелиораций также следует учитывать, что, улучшая одни свойства почв, мы часто ухудшаем другие. Необходим поиск компромисса. Оптимумы показателей почв отличаются, в зависимости от целей мелиорации – для повышения плодородия почв, повышения урожайности сельскохозяйственных культур, оптимизации экологической ситуации. Так, например, ряду растений необходим натрий, однако, увеличение доли натрия в ППК приводит к ухудшению свойств почв, усилению миграции в грунтовые воды органического вещества и т.д. Увеличение концентрации солей в почве при ее промораживании, пересыхании приводит к коагуляции коллоидов, что улучшает структуру почв, однако, соли, ингибирующе действуют на развитие растений. Как правило, необходима комплексная мелиорация солонцовых почв, дифференцированная в зависимости от их вида.

Химическая мелиорация солонцов

Химическая мелиорация солонцов основана на том, что при замещении в ППК почв иона натрия на другие ионы, вызывающие коагуляцию частиц, химические и физические свойства почв существенно улучшаются. Наиболее часто для мелиорации солонцов применяют гипс. Он относительно дешев, достаточно растворим в воде, безвреден при использовании в больших количествах для многих культур и эффективен как на карбонатных, так и на бескарбонатных почвах.

Гипсование почв может проводиться для оптимизации свойств, процессов и режимов почв и повышения их плодородия, для оптимизации экологической ситуации, для улучшения роста и развития культур. Очевидно, что оптимизация одних компонентов экосистемы не всегда соответствует оптимизации других компонентов экосистемы. Помимо гипса, для мелиорации солонцов применяют СаС12, СаСО3, серу, серную кислоту, сульфат железа, сульфат аммония, полисульфид кальция и кислые отходы производства. Среди всех мелиорантов хлористый калий наиболее пригоден для мелиорации солонцов, поскольку его можно добавлять к ирригационным водам, т.к. он обладает высокой растворимостью. Однако, он слишком дорог. Мел и известняк достаточно эффективны на осолоделых почвах. В то же время в Ставрополе успешно применяют СаСО3 в смеси с серной кислотой (на участок вносят СаСО3 и сверху поливают разбавленной технической серной кислотой). При этом образующееся при реакции поглощенного натрия с СаСО3 соединение Na2CO3 нейтрализуется кислотой. Мелиорирующее действие резко возрастает при добавлении навоза, что связано с образованием из СаСО3 соединения Са(НСО3)2, в результате взаимодействия СаСО3 с образующейся при разложении навоза углекислотой. Все вещества, содержащие серу, применяемые для мелиорации почв, эффективны, благодаря действию на почву серной кислоты, которая входит в состав исходных продуктов или образуется в результате гидролиза или окислительной деятельности микробов.

Расчет доз гипса

Отрицательные свойства большинства солонцовых почв обусловлены обменным натрием выше 5% от емкости поглощения. Однако, в некоторых ситуациях высокая плотность, низкая водопроницаемость и другие неблагоприятные в агрономическом отношении свойства обусловлены сочетанием в ППК натрия и магния или остаточным их влиянием, когда указанных катионов в почве в поглощенном состоянии в большом количестве уже нет, а их негативное влияние на плодородие осталось. Поэтому для натриевых солонцов дозы гипса рассчитываются по степени солонцеватости, активности натрия, дзэта-потенциалу. Для малонатриевых солонцов дозы гипса рассчитываются по порогу коагуляции, принципу донасыщения. Наиболее часто количество вносимого в почву гипса рассчитывают по содержанию обменного натрия. При этом считается, что для луговых и лугово-степных солонцов не является вредным 10% натрия от емкости поглощения, но для степных солонцов хлоридно-сульфатного засоления - 5% от емкости поглощения.

Расчет доз гипса для луговых и лугово-степных солонцов проводится по формуле: Г + 0,086(Na+ - 0,1E)H . ПП . т/га (исходя из 100% СаSO4 . 2H2O), где Na+ - содержание обменного натрия, мг-экв/100 г; Н – мощность мелиорируемого слоя, см; ПП – плотность почв, г/см3; Е – емкость поглощения почв, мг-экв/100 г почв; 0,086 – коэффициент перевода кальция в гипс. Для степных солонцов хлоридно-сульфатного засоления Г = 0,086(Na+ - 0,05E)H . ПП т/га. Плотность пахотного надсолонцового горизонта (ПП) чаще равна 1,2 г/см3, солонцового – 1,5 г/см3, иллювиального карбонатного – 1.4 г/см3. Мощность мелиорируемого слоя (Н) составляет чаще 25-35 см. Нормы гипса обычно для луговых солонцов – 8-10 т/га, для лугово-степных и степных – 3-5 т/га. В солонцах, где содержится свободная сода, количество мелиорирующих веществ увеличивают, в соответствии с наличием карбонатов и бикарбонатов натрия. Расчет норм проводят по формуле: Г = 0,086[(Na – 0,1E) + (CO32+ + HCO3-) – 1,0] H . ПП, где (СО32- + НСО3-) – содержание данных ионов в водной вытяжке, мг-экв/100 г почвы; 1,0 – количество этих ионов в одной вытяжке, безвредное для растений. Для магнезиальных солонцов расчет дозы гипса проводится по формуле: Г = 0,086[(Na+ - 0,1E) + (Mg2+ - 0,3E)]H . ПП.

Химический метод мелиорации наиболее эффективен в условиях увлажнения почв и орошения. В богарных условиях он может эффективно применяться лишь на луговых и лугово-степных солонцах черноземной зоны. При определении доз гипса методом донасыщения потребность почв в гипсе определяется по разности в поглощении (кальция насыщенного раствора CaSO4) солонцом и зональной почвой, с четом мощности пахотного слоя и плотности почв.

Для разных солонцовых почв применяются как неодинаковые приемы мелиорации, так и различные мелиоранты. По Кирюшину В.И., основным направлением мелиорации солонцов в лесостепной зоне является гипсование. Эффективность этого приема доказана в широких производственных масштабах. При средней дозе гипса около 10 т/га прибавка урожайности зерновых культур составляет около 5 ц/га на протяжении 7-8 лет после однократного внесения этой дозы. В степной зоне эффективность гипсования степных солонцов намного ниже. Однако, на лугово-степных солонцах прибавка урожайности зерновых от гипсования составляет 3-4 ц/га в среднем за 8-10 лет. Вопрос гипсования луговых солонцов разработан пока недостаточно. Тем не менее в районах северной лесостепи получен значительный материал, свидетельствующий о довольно устойчивом мелиоративном эффекте этого мероприятия на солонцовых землях с залеганием грунтовых вод глубже 1,5-2 м. В степной зоне южной лесостепи в условиях более высокого засоления почвенного профиля и минерализации грунтовых вод химическая мелиорация луговых солонцов малоперспективна.

Таким образом, первоочередным объектом гипсования являются лесостепные солонцовые комплексы с участием солонцов до 50%, на которых проводится выборочное гипсование солонцовых пятен. В степной зоне следует ориентироваться, в первую очередь, на гипсование пятен солонцов в лугово-степных комплексах с участием их до 30%. Основное направление мелиорации солонцовых почв в этой зоне – обработка плантажными трехъярусными и другими мелиоративными плугами. Этот прием при однократном применении обеспечивает устойчивое повышение урожайности зерновых культур на степных и лугово-степных солонцах на 4-6 ц/га и сена на 7-8 ц/га. На определенных категориях солонцов (средне- и многонатриевые высококарбонатные) требуется применение комплексных мелиораций, сочетающих мелиоративную обработку с применением стартовых доз гипса при поверхностном внесении с целью устранения почвенной корки и интенсификации процесса самомелиорации за счет внутрипочвенных запасов карбоната кальция).

Фитомелиорация

Важнейшим аспектом любых мелиораций является мелиорирующее воздействие на почву самих растений. Однако, по Кирюшину В.И, биологический компонент мелиорации может эффективно проявляться лишь при условии рационального подбора культур и оптимальной структуры их возделывания. В настоящее время разработаны региональные шкалы и группировки культур по соле- и солонцеустойчивости, а также по устойчивости к засухе, переувлажнению и другим неблагоприятным условиям. Тем самым созданы исходные предпосылки для решения этой задачи. Однако, на практике важно найти оптимальные сочетания культур в структуре угодья и правильно построить севообороты. Например, структура использования пашни на мелиорируемых солонцах должна предусматривать такую долю пара и набор культур, которые будут способствовать интенсивному рассолению и рассолонцеванию на фоне гипсования или мелиоративной обработки и одновременно обеспечивать оптимальный режим органического вещества с целью формирования водопрочной структуры, повышению биологической активности почвы, способствующей интенсификации обменных реакций мелиорантов с почвенным поглощающим комплексом. В данной связи, в мелиоративном севообороте следует иметь определенное соотношение однолетних культур, донника и многолетних трав. При этом перекос в сторону многолетних трав будет сдерживать интенсивность процессов рассоления в неорошаемых условиях степной зоны, а перекос в сторону зернопаровых севооборотов будет создавать дефицит органического вещества.

Агротехническая мелиорация связана с улучшением свойств почв, за счет их обработки. Под этой категорией улучшения естественных кормовых угодий понимаются такие мероприятия, которые, не решая задачи коренной мелиорации, позволяют, в то же время, существенно повысить их продуктивность. К числу таких приемов относится безотвальная обработка почвы рыхлителями РС-1,5; РСН-2,9; стоками СибИМЭ на глубину 30-35 см с предварительной разделкой дернины. По Кирюшину В.И., достоинство этого приема усиливается тем, что его применение не сопряжено с риском снижения плодородия почв, имеющих на небольшой глубине солевые, солонцовые, осолоделые, оглеенные горизонты, поскольку они в процессе этой обработки не извлекаются на поверхность.

Безотвальная обработка дает ощутимый эффект в относительно благоприятных по увлажнению условиях на солонцовых почвах лесостепи, на луговых и лугово-степных солонцах степной зоны, испытывающих дополнительное поверхностное и грунтовое увлажнение при условии залужения их наиболее устойчивыми к солонцеватости и засоленности многолетними травами, на сильноосолоделых почвах, на почвах, развитых на корах выветривания и морских неогеновых глинах. Данный прием не следует унифицировать и переоценивать его мелиоративное значение, что нередко происходит. Чем сильнее дифференциация почвенного профиля на элювиальный и иллювиальный горизонты и чем хуже свойства последнего, тем значительнее роль мелиоративной обработки в улучшении водно-физических параметров и водного режима почв. На солонцах значение ее усиливается мелиоративным эффектом вытеснения обменного натрия кальцием вовлекаемых в пахотный слой гипса и извести.

Многочисленные испытания различных вариантов плантажной и трехъярусной вспашки показали весьма различные результаты в зависимости от мелиоративного состояния почвы и технологии обработки. В принципе, наиболее желательно создание однородного пахотного слоя путем перемешивания элювиального и иллювиального горизонтов, благодаря чему складываются наиболее благоприятные условия для агрегации почвы, в связи с оптимизацией соотношения илистых и пылеватых частиц. Перемещение части верхнего, наиболее активного в биологическом отношении слоя почвы вниз способствует лучшему использованию его плодородия, благодаря лучшей обеспеченности влагой нижней части пахотного слоя, что особенно важно в засушливых условиях. Однако, требования однородности пахотного слоя оказываются в противоречии с ухудшением его свойств, если в верхнюю его часть вовлекаются горизонты с очень низким содержанием гумуса, глинистые, с повышенным содержанием солей или обменного натрия и др. Отсюда необходимость использования различных вариантов мелиоративной обработки и соответствующих машин.

Следует отметить, что любые мелиоративные воздействия на почву не являются, с экологической точки зрения, полностью безопасными, так как они направлены не только на изменение свойств почв, но, в конечном итоге, естественных процессов и режимов, трофических цепей и биоразнообразия. Экологическая опасность химических мелиорантов обусловлена дополнительно содержанием в них ряда токсикантов: фтора, тяжелых металлов, стронция.

**8. Кислотно-основное равновесие почв и его экологическая роль**

# Значимость проблемы

Кислотно-основной режим почв в значительной степени определяет их генезис, плодородие и экологические функции. рН почв колеблется от 2,5 до 11. Оптимальное для развития растений значение рН составляет для большинства сельскохозяйственных культур от 5,5 до 7,5. Однако, некоторые культуры требуют специфических значений рН (например, чай – около 4). Оптимальные значения рН для большинства агрономически ценных групп микроорганизмов также колеблется в пределах от 6 до 7. В зависимости от рН среды в значительной степени изменяется содержание гумуса и его подвижных форм, содержание подвижных и водорастворимых форм соединений элементов питания и токсикантов, их миграционная способность в почвенном профиле и в ландшафте. При кислой реакции среды значительно увеличивается растворимость соединений фосфора, поливалентных катионов, но в то же время тяжелых металлов. Подвижность органического вещества почв возрастает как в кислом, так и, особенно, в щелочном интервалах. Это является одной из причин большей доли фульвокислот, по сравнению с гуминовыми кислотами как в условиях кислой, так и щелочной среды. Как следствие фульватного характера гумуса, в этих условиях отмечается уменьшение содержания гумуса в почве и уменьшение емкости поглощения почв.

Для оценки кислотно-основного состояния почв определяют рН водной и солевой (КС1) суспензии, содержание в почве ионов водорода различной прочности связи с твердой фазой. При этом концентрация ионов Н+ в растворе характеризует фактор интенсивности и определяется константами кислотной диссоциации кислых функциональных групп (- lgKa = pKa). Этот показатель характеризуется актуальной кислотностью – рН(Н2О). Количество ионов водорода в твердой фазе определяет фактор емкости и характеризует потенциальную кислотность, которая выражена в мг-экв Н+ на 100 г почв. Аналогично для щелочных почв выделяется актуальная и потенциальная щелочность.

Выделяются следующие природные факторы подкисления почв: кислые, бескарбонатные почвообразующие породы; корневое питание растений; разложение растительных остатков; выщелачивание оснований; природные, кислые выпадения. Среди антропогенных факторов подкисления выделяются следующие: изменение систем землепользования и агротехнологий, мелиоративные мероприятия, нерациональное применение удобрений (форм и доз), индустриальные и городские отходы и сточные воды, жидкие и твердые кислые атмосферные выпадения.

По данным агрохимслужбы России на 1 января 1992 года из 14,1 млн. га обследованной в Центральном Нечерноземье пашни кислые почвы составляют 56%. В Центральном черноземном районе выявлены 5,2 млн. га кислых почв, что составляет 49,6% общей площади обследованных земель. Подкисление почв приводит к резкому снижению их биопродуктивности, к деградации самих почв и биоты водоемов, к увеличению загрязнения почв и вод водорастворимыми формами соединений тяжелых металлов.

Устойчивость почв к подкислению в значительной степени определяет их экологические и агрономические функции. Устойчивость обусловлена твердой, жидкой и, в меньшей степени, газообразной фазами почв; органическими, минеральными и органоминеральными компонентами, а также ферментативной и микробиологической активностью.

# Факторы деградации

Деградация почв под влиянием протонной нагрузки обусловлена кислотными осадками, внутренними источниками протонов в почве, подкислением среды при сельскохозяйственном использовании почв. Образование кислотных осадков обусловило окисление в воздухе окислов азота и серы.

1. SO2 + OH → HSO3; HSO3 + OH → H2SO4;

SO2+ hν → SO2`` ; SO2`` + O2 → SO4; SO4 + O2 → O3 + O3; SO3 + H2O → H2SO4;

2. 2NO + O2 → 2NO2; NO2 + OH → HNO3

Концентрация SO2 в мкг/м3 в городе составляет 50-100; над океаном – 0,1; концентрация азота в воздухе городов достигает 10-100 мкг/м3; над океаном – 0,25. Концентрация кислот в атмосферном воздухе достигает 0,1 мг/м3. По данным Парамоновой Т.А. (1994), для региона восточной Литвы среднегодовое поступление сульфатов и нитратов с осадками соответственно 19,5 и 12,0 кг/га. По данным Ulrich B.Z. (1986), протонная нагрузка на почву в районах выпадения кислых осадков составляет 4-6 кмоль Н+ на 1 га (Ulrich B.Z., 1986). При этом рН осадков часто достигает 3-4. Кислотные осадки характеризуются рН - интенсивным параметром, обусловленным константами диссоциации функциональных групп соединений, обусловливающих кислотность, и количеством ионов водорода в растворе – экстенсивным параметром. Кислотность атмосферных осадков, поступающих в почву, существенно меняется при их прохождении через кроны деревьев (на 0,2-0,6 ед. рН), при этом, существенно увеличивается (на 10-30 мг/л( и их минерализация.

В литературе при оценке устойчивости почв к кислотным осадкам учитывают только протонную нагрузку – количество ионов водорода, попадающих в почву. Однако, устойчивость почв к воздействию кислых осадков в значительной степени зависит от комплексообразующей способности кислых продуктов. Конкурирующее комплексообразование усиливает разрушение твердой фазы почв. Поступающие в почву с кислыми осадками ионы водорода являются катализаторами дальнейших биологических процессов подкисления почв. В почвенном покрове увеличивается доля хвойных пород, более устойчивых к подкислению, что способствует образованию более кислого опада. Кислая реакция среды верхнего горизонта приводит к увеличению роли в разрушении продуктов опада грибной микрофлоры, что, в конечном итоге, также ведет к образованию более кислых продуктов. Подкисление почв приводит к разрешению структуры почв и, как следствие, к развитию временного анаэробиозиса, сопровождающегося образованием низкомолекулярных карбоновых кислот.

Поступление кислых продуктов в почву возможно не только за счет кислых осадков, но также при поглощении корнями растений катионов в обмен на Н+, выделяемых корнями; при внесении физиологически кислых удобрений типа (NH4)2SO4, при развитии определенных групп ферментов и микроэлементов, при протекании в почве ряда физико-химических реакций. Внутренними источниками протонов являются преимущественное поглощение растительностью анионов, по сравнению с катионами; минерализация, трансформация и окисление органического вещества, окисление азотистых и некоторых других соединений.

#### Буферность почв к подкислению

Буферность почв к протонной нагрузке может быть выражена величиной ΔН+почв/ ΔНдобавл, где ΔН+(д) – изменение количества добавленных к почве ионов водорода мг-экв/100 г почв; ΔН+почв – изменение количества поглощенных почвой ионов водорода. Так как в почве существуют различные функциональные группы, обладающие буферностью в разных диапазонах рН, то правильнее использовать интегральную зависимость: БН = ΔНпочв/ΔНдобавл для заданных интервалов Н+добавл или Н+почв. Изменение количества в почве поглощенных ионов водорода влияет на разные свойства почв Х = f (H+). Поэтому для практических целей в ряде случаев перспективны зависимости типа ΔрНпочв/ΔН+добавл; ΔА1почв/ΔН+добавл; ΔХпочв/ΔН+добавл, где Х – функциональное свойство почвы, имеющее большое практическое значение в данной конкретной ситуации.

Буферность почв к воздействию кислотных осадков или кислых продуктов, поступающих в почву и образующихся в почве, зависит от буферности почв к протонной нагрузке - ΔХпочв/ΔНдобавл; к восстановлению - ΔХпочв/ΔRedдобавл; к воздействию лигандов, обладающих комплексообразующей способностью - ΔХ/ΔКкомп. В свою очередь, действие на почву протонной нагрузки определяется рН среды и количеством кислых продуктов. Действие на почву восстановленных продуктов определяется константой равновесия в реакциях восстановления или, в первом приближении, Eh почв и количеством восстановленных продуктов. Действие на почву лигандов - комплексонов зависит от констант устойчивости образующихся комплексов и концентрации лигандов. При воздействии на почву указанных факторов чаще отмечаются процессы синергизма.

Выделяются буферные реакции в различных интервалах рН, быстрые и медленные буферные реакции. Было установлено, что при взаимодействии лесных подстилок с кислыми осадками осуществляются два основных механизма буферных реакций: быстрый, который заключается в обмене адсорбированных катионов кальция, магния, калия и, отчасти, марганца на водород, и более медленный, с участием почвенных микроорганизмов, которые разлагают соединения железа и марганца и, в меньшей степени, соли кальция, магния, калия и органических кислот. Медленные буферные реакции обеспечивают величину буферной емкости (способности нейтрализовать кислоту до рН=3) до 700 ммоль/кг, тогда как быстрые буферные реакции обеспечивают буферность до 160 ммоль/кг (Natscher, Schwertmann, 1991).

В качестве одного из механизмов буферности почв по отношению к кислотам, рассматривают реакцию протонирования зависящих от рН обменных позиций, находящихся на глинистых минералах и органическом веществе почвы. Протонирование зависящих от рН обменных позиций, находящихся на глинистых минералах, и потеря обменных катионов глинистыми минералами происходит в диапазоне рН=8,0-3,0. Кроме собственно глинистых минералов, носителями зависящего от рН заряда являются оксиды и гидроксиды алюминия и железа, которые протонируются в достаточно широком диапазоне рН. Экспериментально показано, что способны протонироваться те гидроксильные группы, которые находятся на поверхности гидроксидов алюминия и железа в единичной координации. Освобождение различных катионов из силикатов может происходить при рН < 7,0.

Буферность почв к ионам водорода неодинакова для разных типов почв, горизонтов. По данным Ивановой С.Е. (1998), запасы буферных компонентов к кислоте составляли в органогенных горизонтах 50-300 ммоль/м2; а в минеральных – 1000-7000. По данным Bache B.W. (1984), буферная емкость карбонатных почв составляла до 1000 экв/м2; а для некарбонатных почв – от 10 экв/м2 для песчаных почв до 100 экв/м2 для торфяных почв. При выражении буферности в мг-экв на 100 г почвы она составляла 8-34 (Mantylahti V., 1986). Буферность выражается и в мг-экв Н+ на 1 кг почвы для сдвига рН на 1 единицу. По данным Federer C. (1985), эта величина достигала 100 мг-экв/кг (очевидно, что в разных интервалах рН эта величина будет неодинаковой). Binkley Dan (1989) оценивает буферность по скорости снижения способности почв к нейтрализации кислот (1,3 кмоль/га ежегодно); скорости снижения содержания обменных оснований в почве (2,2 кмоль/га ежегодно). Ниже приведена классификация буферных систем почв к подкислению.

Таблица 10

Буферные системы нейтрализации протонов в почвах (Ulrich B., 1983)

Буферная система : Диапазон рН : Емкость, кмоль/га, дм : Примечания

карбонатная 6,2-8,6 150 на 1% карбонатности карбонаты в тонкой фракции

< 150 карбонаты в скелетной фрак-

ции или распределены нерав-

номерно

силикатная 5,0-6,2 6 на 1% глинистых мине- выветривание силикатов

ралов

карбонатно-обменная 4,2-5,0 0,1-0,15 на 1% глинис- степень насыщенности осно-

тых частиц ваниями должна быть выше

5-10%

алюминиевая 3,0-4,2 зависит от содержания растворение алюмосодержа-

алюмосиликатов и полу- щих минералов

торных окислов

железная 2,5-3,0 растворение окислов железа

почти не возникает

Таблица 11

Устойчивость почв к кислотным воздействиям (Nilsson J., 1988)

Исходная порода : Минералы : Устойчивость почв

гранит, кварц кварц, калиевый полевой шпат очень неустойчивые

гранит, гнейс мусковит, плагиоклаз, биотит (<5%) неустойчивые

гранодиорит, сланец, габбро биотит, амфибол средне устойчивые

габбро, базальт пироксен, эпидот, оливин устойчивые

Устойчивость почв к подкислению и восстановлению определяется как их микробиологической активностью и наличием органического вещества, в качестве энергетического субстрата, так и количеством в ППК функциональных групп, протонирующихся или восстанавливающихся в том или ином интервале рН и Eh. Так как в разных почвах количество таких группировок неодинаково, то буферность почв к внешним воздействиям (деградации) неодинакова на разных стадиях деградации. Одна почва, по сравнению с другой, может быть более устойчива к подкислению в интервале рН=6-5, но менее устойчива в интервале рН=5-4 и т.д. Одна почва, по сравнению с другой, может быть более устойчива к развитию анаэробиозиса в интервале Eh=600-400 мв, но менее устойчива в интервале 400-200 мв.

Устойчивость почв к протонной нагрузке увеличивается с утяжелением гранулометрического состава, емкости поглощения доли минералов с высокой емкостью катионного обмена, с увеличением содержания гумуса, суммы поглощенных оснований, СаСО3, MgCO3 с увеличением буферности почв в кислом интервале, чаще с увеличением рН среды. Устойчивость почв к протонной нагрузке уменьшается с увеличением подзолистого горизонта и степени оподзоленности, с увеличением продолжительности временного анаэробиозиса, с уменьшением рН опада и увеличением в нем доли допустимых веществ и смол, с увеличением массы опада, на вогнутых склонах и понижениях, при усилении промывного типа водного режима, при усилении элювиального под определенными насаждениями, при увеличении комплексообразующей способности мигрирующих кислых продуктов (при усилении деградации почв и компонентов биогеоценоза по другим параметрам).

### Изменение свойств почв при их деградации

Подкисление почв вызывает существенное изменение их свойств. Отмечается снижение минерализации органического вещества до углекислого газа, скорости аммонификации, существенного изменения подвижности железа, марганца, алюминия, вымывание из почв кальция, магния, калия, натрия; изменение емкости поглощения почв. При этом, характер происходящих изменений в разных почвах неодинаков.

При постепенном подкислении почв за счет кислых осадков постепенно протекают следующие химические процессы. При рН=5,6 происходят преимущественно реакции ионного обмена; при рН=3,5 – реакции ионного обмена с вероятным последующим гидролизом соединений алюминия и частичное растворение гидроксидов алюминия; при рН=2,5, кроме перечисленных реакций, происходит частичное разрушение алюмосиликатов и переход в раствор больших количеств алюминия, железа, марганца; при рН=1,5 дополнительно наблюдается адсорбция сульфатов и протонирование органических анионов (Елизарова Э.Г., Орлов Д.С., 1993). По данным авторов, поступление кальция и магния в раствор после обработки почв кислыми осадками осуществляется в результате двух последовательных реакций: быстрой – обменной и медленной – трансформации решеток глинистых минералов. Однако, в разных типах почв преобладающие при подкислении реакции отличаются.

Характер взаимодействия кислотных осадков с почвой зависит от преобладания в почвах органических или минеральных компонентов, рН и Eh почв, генетических особенностей почв. В лесных подстилках подзолистых почв протон кислоты связывается с анионом угольной кислоты и органическими анионами. Способность почвенного раствора нейтрализовать кислоту может быть ориентировочно оценена по содержанию в растворе кальция, магния, калия.

При взаимодействии протона с лесными подстилками в отечественной и зарубежной литературе описаны следующие химические реакции: реакции частичного обмена, реакции растворения солей сильных оснований и слабых кислот с последующим протонированием аниона кислоты, реакции диссоциации органоминеральных комплексов, главным образом, железа и алюминия; реакции протонирования функциональных групп специфических органических почвенных кислот. Указывается на роль в буферных реакциях кальция, калия, марганца. Коробова Н.Л. (1996) отмечает, что основная часть протонной нагрузки (1200 мг-экв/100 г) вступает в буферную реакцию в пределах органогенных горизонтов и расходуется на увеличение необменной кислотности, растворение солей кальция и магния, органических кислот, на замещение протоном обменных оснований.

### Методы оценки деградации

Важное практическое значение имеет разработка методов оценки устойчивости почв к подкислению. Для этих целей используют ориентировочную оценку на основании гранулометрического и минералогического состава почв, их емкости поглощения и гумусированности; оценку буферности почв в кислотно-щелочном интервале методом потенциометрического титрования; оценку буферности в кислотно-щелочном интервале, по данным модельных опытов; оценку буферности почв в кислотно-щелочном интервале, по данным полевых исследований.

При оценке деградации почв под влиянием подкисления важное практическое значение имеет определение следующих показателей. 1) Значение рН, до которого может быть изменена конкретная почва до появления в ней такого количества токсикантов (свинца, кадмия, алюминия, марганца), которые вызывают сильную и нейтральную деградацию почв. 2) Значения рН, которые в данной почве резко угнетают развитие растений, биоты, приводит к нейтральной деградации водно-физических свойств почв, к недопустимой, с точки зрения экологии, миграции соединений в грунтовые воды. 3) Количество ионов водорода, которое может поступать в почву для достижения указанных значений рН. Очевидно, что для достижения разных степеней деградации почв требуется и различное количество поступающих в почву ионов водорода. 4) Количество лет, за которое может быть достигнута деградация почв при существующем уровне выпадения кислотных осадков (отдельно для разных почв и элементов рельефа). 5) Количество лет, за которое может быть достигнута деградация почв, за счет подкисления при применении существующей системы земледелия. 6) Допустимые дозы природного и антропогенного кислотного воздействия на почву, компенсируемые естественными процессами почвообразования.

Так, например, по данным Levina E. (1988), критерием считается количество лет, по прошествии которых (при воздействии кислых осадков) будет достигнут критический порог в изменении свойств почв, лишенных растительности. Автор выделяет следующие группы: до 30 лет, 30-60, 60-90 и более 90 лет. При этом почвы с максимальной буферной емкостью имели устойчивость к кислым осадкам до 774 лет. При прогнозе изменения почв под влиянием кислотных осадков большое значение имеет соотношение скорости освобождения катионов из минералов и скорости поступления в почву ионов водорода.

### Предельно допустимые уровни воздействия

Предельно допустимые уровни воздействия протонной нагрузки на почву различаются для кислотных выпадений, доз физиологически кислых удобрений или кислых отходов сельскохозяйственного и промышленного производства, концентраций ионов водорода, появляющихся в почвах в результате протекающих почвообразовательных процессов и принятых систем земледелия. При этом предельно допустимыми являются значения рН, содержание ионов водорода в почве и их доля среди обменных катионов в ППК. С агрономической точки зрения, неблагоприятными для выращивания большинства с/х культур являются почвы с рН(КС1) менее 5,5 и степенью насыщенности основаниями менее 75%. В этом случае рекомендуется известкование почв.

Среди методов определения критических нагрузок выделяют следующие: подсчет выноса элементов в процентах от их поступления; оценку изменения молярных соотношений между элементами питания; определение степени угнетения растительности и флористического состава напочвенного покрова; использование балансового метода и расчет критических нагрузок с помощью математических моделей. Существуют различные классификации чувствительности почв к кислым осадкам. По классификации Mc.Fee (1980), величину предельной кислотной нагрузки относят к емкости поглощения почв.

Пороговые значения протонной нагрузки составляют, по данным различных авторов, следующие величины: Для серой лесной почвы и чернозема соответственно: 882 и 912 к-экв/га в год (Елизарова Э.Г., Орлов Д.С., 1993). Для дерново-подзолистых почв – 2-6 к-экв/га в год (Киселева В.В., 1998). Для чувствительных к подкислению почв – 117 к-экв/га в год (Leyine, 1988). По данным Киселевой В.В. (1998), протонная нагрузка от НПО «Азот» в период интенсивного загрязнения в десятки раз превосходила скорость освобождения кальция, магния, калия при выветривании минералов и составляла 30 к-экв/га в год. После снижения загрязнения протонная нагрузка в большинстве профилей дерново-подзолистых почв не превышала 0,5 к-экв/га в год, что меньше или равно скорости освобождения катионов при выветривании. По данным указанного автора, критические нагрузки, в зависимости от свойств почв и экосистем составляют 0,3-3 кг/га для протонов и 3-50 кг/га – для азота.

На основании определения рН почв для целей сельскохозяйственного использования, составляют картограммы кислотности почв в масштабе 1:10000; 1:5000; 1:25000. На основании таких картограмм рассчитывают дозы и количество извести, которые необходимо внести на отдельные поля, севообороты, хозяйство. Для оценки общей ситуации с подкислением почв составляются обзорные карты степени кислотности отдельных районов, областей. Они позволяют определить территории с наиболее неблагополучным кислотно-основным состоянием почв, как с точки зрения выращивания сельскохозяйственных культур, так и с точки зрения экологической оценки почв. На основании анализа свойств почв и интенсивности выпадения кислотных осадков составляются карты-схемы опасности деградации почв за счет подкисления.

### Пути оптимизации обстановки

Для повышения рН почв, в основном, применяется известкование – внесение в почвы СаСО3 в дозе от 2 до 10 т/га, в зависимости от степени кислотности, количества поглощенных ионов водорода и свойств почв. В ряде стран обработкой СаСО3 подвергаются также леса и озера, что позволяет улучшить развитие древесных культур, состояние биоты в водоемах, уменьшить содержание тяжелых металлов в грунтовых и речных водах. При этом, необходимость известкования определяется по величине рН почв, а доза извести рассчитывается по количеству в почве поглощенных ионов водорода. Для почв разного гранулометрического состава и гумусированности, в зависимости от выращиваемых культур, оптимальные значения рН неодинаковы.

По данным Богдевича И.М., для севооборотов со льном, картофелем, люпином, рожью, овсом выделяют (или создают) участки с рН в пахотном слое 5,5-6,0; для зерно-травяно-пропашных севооборотов с кукурузой и корнеплодами с рН=6,0-6,5; для зерно-травяно-свекловичных прифермерских, овоще-кормовых севооборотов с рН=6,5-6,7. Известкование кислых почв приводит к повышению урожая сельскохозяйственных культур. По данным ЦИНАО, после известкования кислых почв средние прибавки урожая составляют: зерновых и зернобобовых – 2-5 ц/га; сахарной свеклы – 40-50; картофеля – 15; клевера (сено) – 10-15; кукурузы (зеленая масса) – 50-75; столовой свеклы и капусты – 30-80 ц/га.

При этом эффективность минеральных удобрений повышается на 30-50%. Применение минеральных удобрений на сильнокислых почвах экономически невыгодно и оказывает отрицательное влияние на окружающую среду. Считается, что известкование снижает фитотоксичность металлов, в том числе за счет увеличения биомассы микроорганизмов, включающих их в состав своего тела (Черных Н.А., 1995). При повышении рН среды тяжелые металлы выпадают из раствора в виде трудно растворимых осадков карбонатов, гидроокисей. При загрязнении тяжелыми металлами кислых пахотных земель дозы извести рассчитываются с учетом необходимости их осаждения.

**9. Деградация почв под влиянием рекреационных нагрузок**

# Значимость проблемы

Из физических свойств почв наибольший агрономический интерес представляет плотность почв с ненарушенным сложением. Астапов С.В. и Долгов С.И. считают почву рыхлой, если плотность гумусового горизонта равна 0,9-0,95; нормальной плотности – 0,95-1,15; уплотненной – 1,15-1,25; сильно уплотненной и требующей рыхления – более 1,25 г/см3. По данным Воробьева С.А. (1977), пахотный слой почвы называется рыхлым, если его средняя плотность не превышает 1,15; плотным – от 1,15 до 1,35 и очень плотным – выше 1,35 г/см3. Для озимой ржи и овса оптимальная плотность при возделывании на среднесуглинистой дерново-подзолистой почве - 1,2-1,4 г/см3, для картофеля – от 1,0 в верхней до 1,2 – в нижней части пахотного слоя.

Как показывают исследования Агрофизического научно-исследовательского института (Ревут И.Б.) при посеве зерновых хлебов наиболее благоприятные условия для прорастания семян и дальнейшего роста растений складываются при плотности почвы, близкой к равновесной: на суглинистых и глинистых дерново-подзолистых – 1,20-1,30 г/см3, на черноземных – 1,0-1,1 г/см3. Для пропашных культур, в особенности в районах достаточного увлажнения на дерново-подзолистых суглинистых почвах более благоприятна пониженная плотность – 1,0-1,1 г/см. На почвах, легких по механическому составу, благоприятна несколько более высокая плотность; на дерново-подзолистых почвах для зерновых культур – 1,25-1,35 г/см3, для пропашных – 1,2-1,3 г/см3 (Заев Л.П. и др., 1966). В нижеследующей таблице представлены в обобщенном виде оптимальные показатели плотности почв.

Таблица 12

Оптимальные показатели плотности почв

Гранулометрический состав почв : Плотность почв, г/см3

глинистые и суглинистые 1,0-1,3

легкосуглинистые 1,1-1,4

супесчаные 1,2-1,45

песчаные 1,25-1,60

Отдельные типы почв характеризуются различной плотностью; в нижних и в иллювиальных горизонтах величина плотности чаще выше. Плотность некоторых почв представлена в нижеследующей таблице.

Таблица 13

Плотность некоторых почв, г/см3 (Астахов С.В.)

Почва : Глубина образца, см : Плотность, г/см3

подзолистая 0-12 1,33

85-100 1,78

дерново-подзолистая 0-18 0,85

90-100 1,70

чернозем 0-10 0,97

70-80 1,24

240-250 1,67

солонцовый горизонт 1,4-1,9

сильно оглеенный горизонт 1,7-2,0

светлый серозем 0-16 1,28

* 1. 1,36

Уплотнение почв под влиянием различных факторов приводит к уменьшению биопродуктивности угодий, в ряде случаев, в зоне достаточного увлажнения к переуплотнению и развитию эрозии, в аридной зоне – к опустыниванию и засолению, развитию дефляции. Деградация почв под влиянием уплотнения почти всегда сопровождается деградацией почв под влиянием загрязнения, засоления, осолонцевания.

### Факторы деградации

Уплотнение почв чаще связано с рекреационными нагрузками в лесопарковом поясе, с избыточным выпасом скота на пастбищах, с движением с/х машин, орошением, а также с почвообразовательными процессами – оглеением, осолонцеванием, слитообразованием. Плотность почв увеличивается под влиянием сельскохозяйственных машин и механизмов, дождеванием, а также под влиянием гидротехнических факторов окружающей среды; при этом происходит и разрушение агрегатов почв.

Так, по данным Бакало В.Я. (1978), плотность почвы в верхнем слое на орошаемом пастбище Чуйской долины составила 1,52 г/см3, а на восьмой год – 1,7 г/см3. Для дерново-подзолистых почв Московской области на третий год культурного пастбища плотность почв возросла с 1,54 до 1,75 г/см3, а пористость уменьшилась на 3,7-7,8%. При этом, на разных элементах рельефа степень уплотнения неодинакова. Так, например, по данным Дубенка Н.Н. (1999), за четыре года орошения плотность в пахотном слое верхней части склона изменилась от 1,05 до 1,3 г/см3; в середине склона – от 1,12 до 1,36 г/см3; в нижней части склона – от 1,23 до 1,37 г/см3.

Значительное уплотнение почв происходит под действием сельскохозяйственных машин. Так, например, по данным Липецкого Н.П. (1982), до уплотнения дерново-подзолистая среднесуглинистая почва имела плотность в слое 0-10 см – 1,31; в слое 10-20 – 1,43; в слое 30-40 см – 1,52; а после 10-кратного прохода трактора Т-150К соответственно - 1,90; 1,95; 1,80 г/см3, что значительно выше оптимальной плотности почв – 1,0-1,2 г/см3. НА дерново-подзолистой среднесуглинистой почве плотность пахотного слоя в колее колес увеличивалась за сезон на 0,31 г/см3 (Афанасьев Н.И., 1983). Размер увеличения объемной массы почвы и распространенность глубины уплотненного слоя зависят от давления колес, кратности их воздействия, влажности и типа почвы. При этом образование уплотненного подпахотного слоя – процесс прогрессирующий (Дубенок Н.И., 1999).

### Изменение свойств почв и компонентов экосистемы

Уплотнение почв под влиянием различных причин приводит к изменению их физических свойств, водного, воздушного и теплового режимов, к изменению их физико-химических и агрохимических показателей, биоты, состояния растений, состава грунтовых вод и приземного слоя воздуха. По данным Куйбышева С.В. (1987), повышенные рекреационные нагрузки на почвы лесопаркового пояса Москвы привели к резкому увеличению плотности верхнего 15 см слоя почвы, к уменьшению порозности и пористости аэрации, значительному уменьшению водопроницаемости (1 4-5 раз – для песчаных почв и в 10-12 раз – для суглинистых почв). Это сопровождалось обеднением почв доступными формами азота, фосфора и калия, уменьшением гумусированности.

Как отмечает Садыкбаев Т. (1990), повышенные рекреационные нагрузки приводят к уплотнению почв, сопровождающемуся уменьшением накопления гумуса и подвижных соединений азота, к возрастанию фульватности гумуса и уменьшению доли «свободных» гуминовых кислот. Согласно данным Ушаковой Л.А. (1990), при уплотнении дерново-подзолистых почв отмечается ухудшение микроагрегатного состава, уменьшение общей удельной поверхности и теплоты смачивания. Увеличение плотности сопровождается изменением подвижности в почве токсикантов, изменением биологической активности почв. По данным Мосиной Л.В. (1988), уплотнение почв от 0,6 до 2,0 г/см3 на дерново-подзолистых почвах приводило к повышению содержания обменных цинка, алюминия, меди и свинца.

По нашим данным (Савич В.И. и др., 2000) увеличение плотности почв под влиянием рекреационных нагрузок приводило к увеличению биологической активности почвенных растворов, идентифицируемой по их влиянию на прорастание семян, к уменьшению их комплексообразующей способности.

Мосиной Л.В. и Грачевой Н.М. (1988) показано, что при увеличении плотности почв происходило перераспределение микроорганизмов с глубиной. Они перемещались в более рыхлые глубокие слои, но с достаточной гумусированностью. При этом отмечалось уменьшение числа микроорганизмов и их активность, наблюдалось возрастание доли спорообразующих бактерий, нарушение репродуктивных функций актиномицетов.

Как следствие, увеличение плотности почв приводит к худшему развитию с/х растений и к падению урожайности. Исследования, проводимые в Московской области (Липецкий Н.П., 1982), показали, что уплотнение дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, в состоянии ее физической спелости, ходовыми системами современных тракторов в 1-2 следа не устраняется предпосевной обработкой и приводит к падению урожайности на 10-20%. Эти неблагоприятные явления еще больше проявляются на влажных (весной и осенью) осушенных заболоченных почвах. Водопроницаемость поверхностных горизонтов этих почв резко снижается, увеличивается поверхностный сток, в западинах аккумулируются большие объемы воды. Результаты исследований Матюка Н.С. (1984) показывают, что при уплотнении почв ходовыми системами тракторов густота всходов картофеля уменьшилась на 5,5% при однократном проходе и на 9% - при 2-кратном проходе. По данным Пупонина А.И. и др. (1980), уплотнение почв увеличивало непродуктивный расход почвенной влаги сельскохозяйственными культурами. Коэффициент водопотребления ячменя на участках с 2-кратным уплотнением, в среднем за 3 года, был больше на 7-22%, чем на участках без уплотнения.

Отмечается (Houben J.M., 1981), что твердость почв влияет на рост корней непосредственно, создавая механическое сопротивление косвенно, уменьшая содержание пор аэрации. Нормальный рост растений обеспечивается при пористости аэрации, соответствующей всасывающему давлению 100 см; > 20% - в песчаной; 17% - в легкосуглинистой; 14% - в тяжелосуглинистой и 10% - в глинистой почве. В то же время, уплотнение почв, вызывая явления анаэробиозиса, дегумификации, в значительной степени, влияет на пищевой режим почв, обеспеченность растений элементами питания, воздухом, водой, на устойчивость растений к стрессовым ситуациям.

В связи со значительным влиянием уплотнения на урожай, проводятся расчеты изменения урожайности с увеличением степени уплотнения. Зависимость между урожаем с/х культур и плотностью почвы определяется следующим уравнением (Кушнарев А.С., 1981): Q = 1 – [ a (Popt – P)2 + в (Popt – P)], где Q – урожай в долях от оптимального урожая, получаемого при оптимальной плотности почв; Popt – оптимальная плотность почв; текущее значение плотности; а и в – эмпирические коэффициенты. По данным автора, для сахарной свеклы зависимость урожая от плотности определялась уравнением: Q = 1 – [13,96 (Popt – P)2 + 0,08 (Popt – P)]. Уменьшение плотности почвы на 0,1-0,3 г/см3 от оптимальной приводило к снижению урожая на 20-40%. Но очевидно, что подобные эмпирические уравнения не отражают всей сложности существующих зависимостей и не могут быть применены для других почв и условий.

Изменение свойств почв при уплотнении зависит от сочетания свойств исходных почв и взаимовлияния на почву факторов деградации. Обычно вспашка увеличивает объем крупных пор, и это определяет возрастание водопроницаемости, корнепроницаемости, воздухоснабжения. Однако, при этом происходит уплотнение нижней части горизонта. Образуется плужная подошва. Это уплотнение зависит от мощности гумусовых горизонтов, степени оподзоленности почв, влажности. Буферность или устойчивость к уплотнению является для отдельных почв характеристическим показателем. Если не учитывать особенности почвы при ее вспашке, то можно ухудшить ее физические свойства. Уплотнение подпахотного горизонта способствует быстрому пересыханию верхнего горизонта и увеличивает его подверженность эрозии (Карпачевский Л.О., 1993). При утяжелении гранулометрического состава от песка до тяжелого суглинка уменьшается плотность почв, возрастает влажность завядания, влагоемкость почв. В легкой глине плотность почв может снова возрастать (Карпачевский Л.О., 1993).

Уплотнение почв может соответствовать как уменьшению скважности почв, так и разрушению макро- и микроагрегатов почв. Механическое уплотнение чаще приводит к уменьшению скважности почв, оглеение, осолонцевание, в первую очередь, действует на устойчивость агрегатов почв. По данным Зубковой Т.А. (2000), механическая прочность агрегатов отражает свойства почвенной матрицы на структурном макроуровне. Прочность агрегатов пропорциональна числу контактов, которые определяются удельной поверхностью почвенной матрицы и числом ее сорбционных центров. По мнению автора, оценкой структурных связей агрегатов может быть характеристика степени межчастичного контактирования – максимальное – в глинистых почва, минимальное – в легко и среднесуглинистых. При максимальном контактировании отмечается и большая механическая прочность агрегатов. Так, например, в легком суглинке порозность агрегатов составляет 40-50%; механическая прочность на раздавливание Р – 13-31 кПа; число контактов - < 8. 1010 см-2, а в средней глине порозность – 23-32%; Р – 122-147; число контактов – 118-191 . 1010 см-2. Средняя сила индивидуальных контактов между частицами в агрегате составляет порядок 10-11-10-10 н.

Таким образом, уплотнение почв обусловлено действием ряда факторов, устойчивость к которым отдельных почв неодинакова. Выяснение теоретических закономерностей этого явления для отдельных почв пока не завершено. Устойчивость почв к уплотнению увеличивается на почвах более легкого гранулометрического с–става; при наличии устойчивого к уплотнению травостоя, уменьшается при временном и постоянном анаэробиозисе почв, при загрязнении почв, на кислых почвах, на менее гумусированных почвах, с меньшей мощностью А1; при меньшем проективном покрытии травостоем, в пониженных элементах рельефа, при развитии эрозии. Нарушение экологической ситуации при уплотнении почв обусловлено более быстрым развитием эрозии, дегумификацией, изменением потоков вещества в грунтовые воды и в приземный слой воздуха, изменением микроклимата территории, уменьшением биологического разнообразия, изменением трофических цепей.

### Допустимые нагрузки на почвы

Так как разные почвы и определенные их свойства в неодинаковой степени подвержены переуплотнению, то и предельные нагрузки на конкретные почвы отличаются. Однако, для практических целей учитывают градации, приводимые в следующих таблицах.

Таблица 14

Удельные допустимые нагрузки на грунты (Сладкопевцев С.А., 1996)

## Тип грунтов :Допустимые удельные нагрузки, кг/см2 :Степень корро-

:----------------------------------------------------:зийности \*)

: талые : мерзлые :

скальные и полускальные более 5 более 10 1

песчаные 1,5-2,5 8-10 1

песчаные на пойме 1,0-2,0 8-10 1-2

песчаные с прослойками глинистых 2-3 6-8 1-2

то же на поймах 1,5-2,5 5-6 2-3

глинистые с прослойками песчаных 1,5-3,0 5-6 1-2

то же на поймах 1,0-2,5 5-6 2-3

глинистые 1,0-6,0 5-6 2-3

лессовидные 1,0-3,0 5-6 2-3

торфяные 0,5-1,0 4-5 1-2

\*) определяется сопротивлением грунта, ом/м; 1 – низкая (более 100); 2 – средняя

(100-10); 3 – высокая (менее 10).

Таблица 15

Критерии для выделения экологической напряженности по увеличению

плотности почв

Увеличение плотности почв: Площадь проявления показателей, %

:------------------------------------------------------------------------------

: < 5 : 5-20 : 20-50 : > 50

меньше в 1.1 раза 1 \*) 1 1 1

1,1-1,2 2 2 2 2

1,2-1,3 2 3 3 4

1,3-1,4 3 3 4 5

больше в 1,4 раза 3 4 5 5

\*) зоны: 1 – относительного благополучия; 2 – экологического риска; 3 – экологического

кризиса; 4 – экологического бедствия; 5 – экологической катастрофы.

### Пути оптимизации обстановки

Для устранения уплотнения почв можно устранить или уменьшить влияние факторов, вызывающих уплотнение – причину, или частично оптимизировать свойства почв – изменить последствия негативного влияния. Уменьшение влияния на почву загрязнения, осолонцевания, засоления, развития эрозии, оглеения рассмотрено в соответствующих разделах учебника.

Уменьшение уплотнения, в связи с выпасом скота, достигается регулированием выпаса, в соответствии с кормовой емкостью пастбищ. Уменьшение уплотнение почв при орошении достигается уменьшением норм полива, совершенствованием техники полива, мелиорацией поливных вод (уменьшением доли натрия в поливных водах). Уменьшение уплотнения при обработке почв достигается оптимизацией систем обработки и применяемых сельскохозяйственных машин. Уплотнению способствуют более высокие скорости обработки, большая масса применяемой сельскохозяйственной техники.

Обработка почвы решает следующие задачи: 1) заделку семян в почву на необходимую для данного вида и сорта глубину; 2) подготовку благоприятных для растений физических свойств почв; борьбу с сорняками; 4) оптимизацию водного режима; 5) заделку удобрений и мелиорантов на глубину, в которой они могут оптимально использоваться.

Важным моментом для сохранения структуры почв и уменьшения ее плотности является обработка почв в состоянии спелости, т.е. при определенной влажности. В том случае, когда почва обрабатывается при избыточной влажности, образуется глыбистая структура. В том случае. Когда обрабатывается сухая почва, образуется пылеватая структура. Указанные явления приводят к уплотнению почв. Чаще это проявляется на глинистых почвах, так как период спелости на таких почвах очень короткий, а в хозяйствах не хватает техники для своевременной обработки почв.

Развитию уплотнения способствует и неправильное применение минеральных удобрений. Почва диспергируется и уплотняется при высоких дозах K, NH4 (более 5% от емкости поглощения почв), при избыточных дозах СаСО3, навоза, особенно жидкого. Для оптимизации обстановки необходим расчет взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой.

Плотность почв зависит от структуры почв и выращиваемой культуры. Так, типичные черноземы в некосимой степи, где зернистая структура хорошо выражена, обладают плотностью 0,95 в слое 0-10 см; под лесом – 0,93; под озимой пшеницей – 1,0; под другими культурами – 1,03-1,06 г/см3. Система севооборотов является одним их важных рычагов предотвращения уплотнения почв. Для борьбы с плужной подошвой необходимо использовать обработку на различную глубину. (К сожалению, вспаханные горизонты способны самоуплотняться, особенно это относится к почвенной корке и горизонту А2).

Из способов уменьшения плотности почв используют применение мелиорантов, повышенных доз верхового торфа и других разрыхлителей, посев многолетних трав, применение искусственных структурообразователей, повышение урожая с/х культур.

**10. Нарушение экосистем при орошении почв**

Орошение почв в значительной степени может повышать урожай сельскохозяйственных культур, однако. в ряде случаев, возникающие негативные последствия не только приводят к падению урожайности, но даже к деградации почв и угнетению всех компонентов экосистемы. Для того, чтобы избежать появления негативных последствия орошения, повысить его экономическую эффективность необходимо знать сущность протекающих процессов и ограничения использования оросительных вод, ограничения в возможности орошения почв.

### Значимость проблемы

Необходимость и целесообразность орошения почв обусловлена недостатком воды для растений в течение всего года или вегетационного периода, недостатком воды в отдельные декады вегетационного периода, недостатком воды для получения более высоких урожаев, необходимостью добавочного количества воды для промывки почв от солей, оптимизацией плодородия почв.

Орошаемые земли составляют всего 14,3% обще й площади пашни планеты, но на них получают более 40% всей сельскохозяйственной продукции. В то же время, в среднем, КПД оросительных систем во всем мире составляет всего 37%. Ежегодно из-за засоления на планете выпадает из оборота более 300 тыс. га орошаемых земель, а общая площадь засоленных и ставших бесплодными земель достигает 25 млн. га. В бывшем СССР с 1960 по 1980 г.г., в среднем, из каждой тысячи орошаемых гектаров засолялись 184 гектара (Агроэкология, 2000). В настоящее время в России находится в неудовлетворительном состоянии 774 тыс. га орошаемых земель, в том числе из-за недопустимой глубины залегания уровня грунтовых вод – 325 тыс. га; из-за засоления – 292; при действии обоих факторов – 154 тыс. га.

Орошение почв связано с большими затратами воды. Суммарный водозабор на орошение по всем регионам Земли составляет 1900 км3 воды в год. Из этого объема 1500 км3 теряется и не используется для получения урожая. К сожалению, довольно часто при орошении возникают неблагоприятные экологические последствия. Каждый вид мелиорации, действуя на основной мелиорируемый компонент, оказывает воздействие и на сопредельные территории и компоненты.

### Нерешенные проблемы, негативные последствия

При орошении наиболее часто возникают следующие деградационные изменения почв: изменение физических свойств, засоление, осолонцевание, подщелачивание, подкисление, подтопление и заболачивание, дегумификация, ирригационная эрозия, загрязнение почв, обеднение минералогического состава, неблагоприятное изменение численности видового состава биоты (Зимовец Б.А. и др., 1998). Дополнительно возникают неблагоприятные процессы вымывания из почв элементов питания (в частности, часть Са), изменения химического состава грунтовых вод с увеличением в них доли железа, марганца, алюминия, подтопление сопредельных территорий. Так, например, Давыдовым А.И. (1992) указывается на значительное увеличение за последние десятилетия площади переувлажненных земель на юге России. Черноземы превращаются в лугово-черноземные и черноземно-луговые в различной степени осолонцовывания почвы. В случае грунтового заболачивания при близком залегании галечникового водоносного слоя формируются солончаковатые черноземно-луговые солонцы. При заболачивании поверхностными водами ранней весной происходит их смыкание с грунтовыми, и, в этом случае, формируются лугово-черноземные солонцеватые почвы. Эти почвы формируют покров характерных ландшафтов – мочаров.

Часто неблагоприятные изменения почв при орошении связаны с плохим химическим составом оросительных вод. К сожалению, в южных районах, где требуется орошение, практически нет пресных вод для полива. Приходится поливать минерализованной водой. При этом возникают следующие неблагоприятные явления. При необоснованно увеличенных нормах полива, при потерях оросительной воды из каналов происходит поднятие уровня грунтовых вод и подъем растворенных солей по капиллярам почвы к поверхности. Процессу вторичного засоления могут подвергаться естественно засоляющиеся, остаточно-засоленные, исходно незасоленные или глубоко рассоленные почвы. Выделяют следующие стадии вторичного засоления почв: засоление почв вдоль новых каналов, общее засоление орошаемой территории; рассоление староорошаемых территорий при одновременном засолении исходных внутриоазисных пространств и периферии оазисов.

### Негативные экологические последствия орошения

На орошаемых землях отмечаются следующие негативные экологические последствия: 1) вторичное засоление почв, приводящее к снижению продуктивности земель; 2) осолонцевание и слитизация почв; 3) образование растущих соляных водоемов в местах сброса дренажно-коллекторных вод; 4) резкое ухудшение качества воды в реках, вследствие сброса в них дренажно-коллекторных вод; 5) засоление и деградация ландшафтов в низовьях рек, вследствие большого водозабора в верховьях; 6) загрязнение поверхности и подземных вод избытком солей, минеральных удобрений, пестицидов, ядохимикатов; 7) дефицит водоснабжения, особенно питьевого, на больших территориях; 8) загрязнение токсикантами местообитаний дикой фауны, особенно перелетных водоплавающих птиц, ведущее к исчезновению видов; 9) распространение болезней среди населения, как обитающего непосредственно среди орошаемых территорий, так и в местах сброса дренажного стока; 10) загрязнение нитратами с/х продукции, вследствие усиленного применения азотных удобрений на орошаемых землях; 11) необратимые гидрологические и гидрогеологические изменения, в частности, исчерпание подземных водных ресурсов, местами сопровождающееся просадочными явлениями; 12) неблагоприятное воздействие перечисленных последствий на социально-экономическую и политическую сферы.

Орошение приводит к увеличению выделения из почв недоокисленных соединений азота, сероводорода, метана, ацетилена, углекислого газа, что сказывается на составе атмосферного воздуха и состоянии озонового слоя. Обогащение грунтовых вод элементами питания приводит к этерификации водоемов с дальнейшими неблагоприятными последствиями.

Следует выделять экономические и экологические ограничения в использовании орошения. Экологические ограничения связаны с прогнозируемыми изменениями экологической обстановки, свойств почв и состояния растений. Изменения экологической ситуации обусловлены поднятием уровня грунтовых вод и подтоплением сопредельных территорий, участков в пониженных элементах рельефа, в зонах выклинивания водоупоров и грунтовых вод. При поливе минерализованными водами отмечается повышение уровня минерализации и загрязнения выше допустимых пределов в отрицательных элементов рельефа, вниз по течению реки.

Из свойств почв, в первую очередь, лимитирующих орошение, являются для отдельных видов орошения песчаный гранулометрический состав, не способный задерживать влагу в достаточном для растений количестве, глинистый и тяжелосуглинистый гранулометрический состав, не обеспечивающий фильтрацию оросительных вод. На таких почвах часто возникают неблагоприятные условия анаэробиозиса, засоления, осолонцевания. Ограничивает применение орошения малая буферность почв в окислительно-восстановительном интервале, приводящая к быстрому развитию при орошении восстановительных условий. Препятствуют орошению близкое залегание грунтовых и, особенно, засоленных вод, засоленных пород, высокая плотность почв, наличие в почвах Na2CO3 и гипса, приводящие к вспышке щелочности при поливах и развитию сульфатредукции.

Целесообразна разработка комплексных экологических требований к оросительным системам, предотвращающих подтопление, заболачивание, осолонцевание, засоление, загрязнение почв, повышение минерализации, ухудшение состава, загрязнение поверхностных вод, ухудшение функционирования водных и наземных экосистем на ландшафтном и региональном уровнях.

### Пути оптимизации обстановки

При составлении проектов орошения почв необходимо учитывать: 1) планируемую прибавку урожая; 2) экономическую рентабельность; 3) изменение при орошении почв; 4) грунтовых вод; 5) рельефа; 6) сопредельных территорий; 6) воздушной среды; 7) экономические затраты на оптимизацию обстановки по пунктам 3-6; 8) прогноз эволюции компонентов экосистемы за длительный промежуток времени (50 лет). Для оптимизации обстановки необходим строгий расчет норм и способов орошения наиболее приемлемых для конкретных ситуаций. Важным моментом является совершенствование техники и технологий полива. Для предупреждения ирригационной эрозии используют дождевальные машины с низкой и средней интенсивностью дождевания (до 0,3 мм/мин). Это позволяет увеличить поливную норму до 800 м3/га без формирования поверхностного стока.

Для предупреждения ухудшения физических свойств почв при обработке рекомендуются следующие технические нормы охраны почв: 1) проведение работ по подготовке почвы только при оптимальной влажности (50-70% от полной влагоемкости), что соответствует 2-4% воды в песчаных почвах; 3-10% - в песчано-глинистых; 5-12% - в глинисто-песчаных; 9-16% - в глинистых; 12-19% - в глинисто-илистых; 16-22% - в илистых; 2) отказ от проведения обработок при избыточной влажности почв; 3) прекращение поливов задолго до обработки почв; 4) полив сухой почвы пониженными нормами (300-400 м3/га) с тем, чтобы можно было проводить обработку в условиях оптимальной влажности.

Положительные результаты дает улучшение параметров свойств почв, возникших при неправильном орошении. К таким приемам относится гипсование, внесение органических удобрений, приемы по созданию структуры и хорошего гумусового состояния и т.д. Однако, более правильно воздействовать на причину, а не на следствия. Это подразумевает уменьшение поливных норм, непроизводительных потерь воды, мелиорацию поливных вод. Под последней понимается увеличение в поливных водах концентрации кальция, по сравнению с концентрацией магния и, особенно, натрия. Это достигается внесением в водоемы, откуда берут воду для полива, СаСО3 и CaSO4. При тех же затратах воды большие прибавки урожая достигаются при поливе в оптимальные сроки, при растворении в поливной воде элементов питания, микроэлементов, ростовых веществ.

Следует помнить, что орошение связано с очень большими затратами и существенно изменяет не только свойства, но также процессы и режимы почв, является новым фактором почвообразования. Оно эффективно только в том случае, когда, кроме воды, оптимизируются и другие факторы роста и развития растений. Без комплексного подхода к решению этой проблемы орошение экономически нерентабельно. В то же время без комплексной оценки экологических последствий орошение часто приводит к прямым и отложенным нарушениям экологической ситуации, что также, в конечном итоге, приводит к экономическим убыткам.

**11. Нарушение экосистем при осушении почв**

# Значимость проблемы

Осушение почв является одним из важных приемов по повышению урожаев сельскохозяйственных культур в зонах избыточного увлажнения. Общий мелиоративный фонд в районах достаточного увлажнения России составляет 75,3 млн. га. В ряде областей избыточно увлажненные почвы составляют 30-40% общей площади сельскохозяйственных угодий. Общая площадь осушенных земель в мире составляет 160 млн. га или более 11% мировой площади пашни и многолетних насаждений. Необходимость осушения определяется избытком воды и близким уровнем грунтовых вод. При этом нормы и способы осушения зависят от биологических особенностей выращиваемых культур, свойств почв, геоморфологических и гидрологических особенностей территории.

Сельскохозяйственные культуры выдерживают как определенный уровень грунтовых вод, так и определенную влажность почв, длительность затопления. Так, например, при посадке сада уровень грунтовых вод должен быть на 1,5-2.0 м ниже поверхности земли. В дальнейшем, уровень грунтовых вод необходимо поддерживать на следующей глубине: для плодовых – 2,0 м; для крыжовника – 1,5 м; для малины – 1,0-1,5 м; для земляники – 0,6-0,7 м. Оптимальная глубина для сенокосов 50-70 см; для пастбищ – 80-90 см (Андреев Н.Г., 1973). Допустимый уровень грунтовых вод меняется как для отдельных культур, так и в зависимости от периода вегетации. Минимальная глубина понижения уровня грунтовых вод определяется и свойствами почв и их гранулометрическим составом, уровнем гумусированности, наличием в почвенном растворе и грунтовых водах токсичных соединений.

Различные сельскохозяйственные культуры выдерживают и определенный период затопления водой (который также зависит от температуры и химического состава вод, фазы развития растений). Так, картофель выдерживает затопление до 6 часов, а бекмания – до 42 дней. При проведении осушения разработаны сроки отвода избыточных вод из корнеобитаемого слоя почвы. Отдельные сельскохозяйственные культуры предъявляют и различные требования к влажности почв, что также является критерием для осушения почв.

По данным Скоропанова С.Г. (1977), затраты на осушение достигают 1,5-2,0 тыс. рублей на 1 га (в ценах 1975-1977 г.г.), что обеспечивает развитие совершенной осушительной сети, гарантирующей высокую продуктивность земель (до 70-80 к.ед. с 1 га). Однако, это обеспечивается только при внесении 350 кг/га действующего вещества NPK. Данные бонитировочной оценки показывают, что осушенные торфяники оцениваются в 70-80 баллов, суглинистые почвы – в 60-70 баллов, а песчаные – в 30-35 баллов.

# Нерешенные вопросы

Проблемы, возникающие при осушении почв, связаны, в основном, с тремя группами вопросов: 1) не все почвы могут быть осушены с технической точки зрения; 2) недостаточно хорошо установлен критерий необходимости осушения почв, что приводит к осушению таких земель, которые не нуждаются в этом мероприятии; 3) в ряде случаев экономическая эффективность осушений невелика, что связано как с несовершенством технологий и нарушением правил, так и с не комплексным подходом к повышению плодородия почв; 4) осушение, в ряде случаев, сопровождается нарушением экологических ситуаций в месте проведения работ и в сопредельных территориях.

Осушение почв затруднено и, в ряде случаев, невозможно при большой плотности и малой водопроницаемости почв, при отсутствии условий для сброса излишних вод. В ряде случаев, почвы являются избыточно увлажненными в отдельные периоды сезона, и при строительстве нерегулируемых осушительных систем они оказываются в сухие годы недостаточно увлажненными. Критериями необходимости осушения являются избыток воды в почвенном профиле и близкий к поверхности уровень залегания грунтовых вод, а также степень оглеения и оторфянения почв. В то же время воды с благоприятным химическим составом не оказывают на растения негативного влияния. Например, избыток воды после дождя, близкий уровень грунтовых вод в прирусловой части поймы, когда воды богаты кислородом и не содержат восстановленных продуктов.

В глинистых почвах избыточное увлажнение приводит к увеличению в почвенном растворе подвижных токсичных для растений соединений марганца, алюминия, железа, а в песчаных почвах этого не наблюдается. При развитии анаэробиозиса при низких значениях окислительно-восстановительного состояния в почвах, обогащенных сульфатами, образуются токсичные для растений соединения сероводорода. В почвах, где содержание серы очень невелико, опасность образования таких соединений мала. Таким образом, в одних почвах при их избыточном увлажнении, помимо избытка воды, образуются токсичные продукты, а в других нет. К сожалению, существующие методы оценки необходимости осушения почв эти вопросы не учитывают.

Для повышения эффективности осушения оно должно сопровождаться проведением комплекса мероприятий по повышению плодородия почв и урожайности с/х культур. Однако, на практике этого часто не наблюдается, что и приводит, в ряде случаев, к низкой эффективности осушительных мероприятий. Следует отметить, что экологически и в длительной перспективе экономически более выгодно подбирать пути сельскохозяйственного использования почв, в соответствии с адаптационными возможностями выращиваемых на них культур. Лучше для почв определенной степени гидроморфности подобрать свои культуры, типы сельскохозяйственного использования. Осушение почв приводит к коренному изменению не только свойств почв, но также протекающих в почвах и ландшафтах процессов и режимов. Такая коренная перестройка природы не остается без негативных последствий. Всегда выгоднее познать законы природы и их использовать, чем переделывать природу, в соответствии со своими требованиями к ней.

### Изменение свойств почв при осушении

Осушение и интенсивное сельскохозяйственное использование осушенных торфяных почв при сохранении их в первозданном виде – задачи, практически неосуществимые (Бурлей В.Р., Вознюк С.Т.). К экологическим последствиям осушения почв относят следующие: интенсивную минерализацию органической части в почвах легкого гранулометрического состава, их подкисления, вынос дренажных элементов с грунтовыми водами. В органогенных почвах – это обезвоживание органического вещества, его гидрофобизация, минерализация торфа при образовании значительных количеств NO3, NH4. При уменьшении степени гидроморфизма происходит переход Fe3+ в Fe2+, Mn4+ в Мп2+. С одной стороны, это приводит к уменьшению их токсического влияния на растения, однако, в нейтральных почвах – к дефициту железа и марганца для растений.

При минерализации торфяных почв происходит ежегодное уменьшение мощности торфяного слоя от 1 до 12 см (в среднем 2-3 см). Ежегодные потери органического вещества при этом составляют 6-7 т/га с пашни и 36 т/га с лугов и пастбищ (Владыченский А.С., 1997). После мелиорации болот испарение с них сокращается примерно на 15%, при одновременном увеличении годового (на 40%), особенно меженного (в 2,5 раза) стока с мелиорированных речных водосборов.

Однако для разных почв и в зависимости от степени и длительности осушения изменения свойств почв отличаются. Так, в результате длительного осушения (20 лет) перегнойно-торфяной железистой почвы зольность пахотного слоя возросла до 26%, плотность почвы увеличилась до 0,4 г/см3, плотность твердой фазы – до 1,86 г/см3, пористость уменьшилась до 80%, полевая влагоёмкость – до 73-65%. Водопроницаемость изменялась по профилю от 7,7.10-8 до 1,2.10-5 м/сек (Винокурова В.М., 1984).

Осушение и глубокое рыхление глеевых и глееватых дерново-подзолистых почв на лессовидном суглинке вызывало уменьшение на 0,2-0,4 г/см3 объемной массы, увеличение на 10-15% общей порозности, снижение на 4-6 кг/см2 твердости, возрастание на порядок коэффициента фильтрации (Гельцер В.Ю., 1983). По данным автора, это привело к сокращению численности и зоомассы мезофауны. В частности, численности люмбридид на 30-50%, численности насекомых в 1,5 раза, численности дождевых червей в 7-11 раз. В то же время наблюдалось заселение иллювиальных горизонтов почв простейшими (жгутиконосцами, инфузориями), усиление общей микробиологической активности. Изменение свойств почв при осушении зависит от длительности осушения.

Таблица 15

Водно-физические свойства торфяно-болотных почв в зависимости от

длительности осушения (Гетов Л.В., 1963)

Показатель : Неосушенное : Длительность осушения, годы

: болото :---------------------------------------------------------------

: : 5-7 : 25-30 : 75-80

степень разложения, % 25 и менее 30-35 35-40 40-50

зольность, % 4,1-7,1 8,2-9,3 9,5-10,2 10,4-12,0

удельная масса, г/см3 1,48-1,54 1,55-1,57 1,57-1,58 0,20-0,26

объемная масса, г/см3 0,09-0,13 0,15-0,17 0,18-0,21 1,59-1,61

коэффициент фильтрации,

n.10-4 см/сек 1,27-7,43 3,82-21,3 6,07-36,6 70,3-166,0

При отборе вод происходят следующие изменения: опускание уровня грунтовых вод, уменьшение стока в реки и поверхностного стока, опускание уровня водоносных горизонтов и их емкости, перехват вертикального и горизонтального миграционных потоков, подток из водоносных горизонтов соседних районов, ускорение миграции вниз по профилю за счет стока, ускорение стока с поверхности в связи с осушением верхнего горизонта. Прогноз изменения обводненности территории определяется количеством отбираемой для технических и хозяйственных нужд воды, гранулометрическим составом почв и пород, их коэффициентами фильтрации и высотой капиллярного поднятия, скоростью отбора воды, приходными и расходными статьями водного баланса используемых водоносных горизонтов.

Для оценки экологических последствий водозабора и опускания уровня грунтовых вод учитывают следующие составляющие: 1) опускание уровня грунтовых вод и уровней воды в колодцах, необходимость и стоимость подведения водопровода или углубления водозаборных скважин; 2) изменение почвенного покрова территории в связи с уменьшением степени ее гидроморфизма; 3) изменение плодородия почв; 4) ухудшение развития древесной растительности; 5) пересыхание малых рек, гибель рыбы, ухудшение состояния пойменных лугов; 6) уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур в связи с нарушением микроклимата территории; 7) усиление развития водной и ветровой эрозии; 8) изменение качества вод и необходимость замены технологических линий по их очистке.

Влияние опускания уровня грунтовых вод на рельеф проявляется в изменении базиса эрозии, в ускорении стока, в усилении развития водной и ветровой эрозии; в изменении микро- и мезорельефа, в связи с пересыханием западин, в усилении паводков и аллювиальных процессов. В почвенном покрове территории, в связи с осушением, уменьшается степень гидроморфизма, торфянистый горизонт переходит в перегнойный, а перегнойный – в дерновый, происходит сработка торфов, увеличение их илистости и минерализации. При промывном типе водного режима в таежно-лесной зоне происходит увеличение кислотности и элюирования профиля.

При осушении территории изменяется, в первую очередь, рН и Ehпочв, усиливается минерализация гумуса. Это сопровождается уменьшением подвижных соединений Mn, Al, Fe, NH4, увеличением подвижных соединений нитратов, изменением подвижности тяжелых металлов. Влияние опускания уровня грунтовых вод на растительность отличается для автоморфных и полугидроморфных, гидроморфных территорий, для сельскохозяйственных культур, естественных травостоев, садов, лесов. Изменяя растительность, осушение влияет и на животный мир осушаемой и сопредельных территорий.

### Пути оптимизации обстановки

Для уменьшения возможных отрицательных влияний опускания уровня грунтовых вод на биологическую продуктивность с/х угодий рекомендуется:

1. Внесение повышенных доз органических удобрений 12-14 т/га в год для увеличения влажности почв, увеличения доступности влаги, образования структуры, оптимизации питательного режима.

2. Создание на почвах легкого гранулометрического состава на глубине 50-70 см плохо водопроницаемой прослойки для задержания на ней элементов питания и воды.

3. Создание в балках и оврагах небольших плотин и водоемов, задерживающих паводковые воды, для снабжения близлежащих полей водой при их орошении. В первую очередь, для овощных и трав при орошении дождеванием. При этом предварительно необходимо создание водонепроницаемого днища создаваемых водоемов. Это может быть выполнено с использованием полиэтиленовой пленки, чередования слоев песка и глины, запахивание на глубину 20 см соломы и навоза, которые затем вызывают развитие анаэробиозиса, диспергирование почв, уменьшение их водопроницаемости.

4. На болотных почвах необходимо регулирование степени увлажнения до оптимума (50-80% от полной влагоемкости), увеличение доли в севообороте многолетних трав. В противном случае произойдет выдувание и сгорание торфа, и на поверхность выйдет практически бесплодный глеевый горизонт.

5. На дерново-глеевых почвах необходимо обязательно рыхление, внесение органических удобрений, увеличение в первые годы использования доли специально подобранных многолетних трав, т.к. с осушением этих почв они сильно уплотняются, подвижность элементов питания в них уменьшается.

6. Опускание уровня грунтовых вод приведет к увеличению податливости почв к эрозии, как в связи с меньшей водоемкостью верхнего горизонта, так и в связи с изменением базиса эрозии. Поэтому необходимость в таких мероприятиях, как вспашка поперек склона, создание буферных полос из многолетних трав и увеличение доли многолетних трав в севообороте возрастает.

Для повышения плодородия торфяных почв необходимо увеличение их минеральной части (внесение песка, глины, лесса). При этом создаются условия для наилучшей проходимости сельскохозяйственных машин, снижается подверженность почв пожарам и эрозии, улучшается водный режим, продолжительность периода с увлажнением, близким к оптимальному, увеличивается, раньше достигается оптимальная температура почвы, улучшаются агрохимические свойства.

**12. Опустынивание почв и его экологическая оценка**

# Значимость проблемы

Потенциальная опасность опустынивания нависла над 110 странами, в которых находятся засушливые земли. По данным ЮНЕП, потери от опустынивания обходятся государствам в 42 млрд. долларов США в год. По данным ФАО, ежегодные потери почвы на планете составляют 25 млрд. тонн, в том числе в США – 5 млрд. т, в России – 3 млрд. т. Каждую секунду в мире образуется 10 га пустынь, и каждую минуту вырубается 30 га лесов. Значительные масштабы опустынивания приобрели в Прикаспии, особенно, в Калмыкии, где 80% территории подвержено этому типу деградации почв. В Астраханской области пострадали от пастбищной дегрессии и подверглись дефляции 1,3 млн. га, из которых 400 тыс. га перешли в развеваемые пески. Наибольший ущерб наносят засухи, число которых в последние столетия резко возросло. В России в Х1 веке было 8 сильных засух; в XII, XIII, XIV, XV столетиях – по 12; в XVI – 20; XII – 21; XVIII – 34; в ХХ – 57 сильных и средних засух. Опасность опустынивания велика в областях недостаточного увлажнения и слабого развития почвенно-растительного покрова.

# Причины опустынивания

Ковда В.А. (1981) выделяет следующие возможные причины аридизации:

А) космические и геологические:1) возможное охлаждение климата; 2) поднятие суши и рост поверхности континентов; 3) снижение уровня океана и уменьшение испаряемости влаги; 4) смена морских и воздушных течений;

Б) антропогенные: уничтожение лесной и травянистой растительности; уменьшение на обширных территориях гумусированности почв; распашка больших массивов; разрушение и уничтожение почв, запыление и задымление атмосферы.

Наряду с глобальными изменениями климата, обусловливающими развитие аридизации и опустынивания, большое значение для протекания этих процессов имеет характер сельскохозяйственного использования и свойства почв. При увеличении распашки территории выше пределов, допустимых для каждого региона, отмечается ее иссушение, опускание уровня грунтовых вод, засоление и осолонцевание. Это сопровождается и усиливающимися процессами опустынивания. В то же время любые факторы, приводящие к деградации почв, способствуют уменьшению биологической продуктивности угодий, уменьшению проективного покрытия поверхности травостоем и, как следствие, к развитию опустынивания. К таким факторам относится вторичное засоление почв, их осолонцевание, загрязнение тяжелыми металлами и другими токсикантами, переуплотнение почв, вытаптывание травостоя при ненормированном выпасе скота и т.д.

# Изменение почв при их деградации

Процессы опустынивания сопровождаются понижением уровня грунтовых вод, их минерализацией, увеличением сухости почв, уменьшением проективного покрытия поверхности травостоем. Это сопровождается усилением эрозии почв, их засолением и осолонцеванием, дегумификацией. Сухие почвы сильнее и быстрее нагреваются, быстрее охлаждаются. В почвах наблюдается усиление минерализации гумуса и потеря поверхностными горизонтами комковато-зернистой структуры. Повышенное содержание в почвах обменного натрия и водорастворимых солей приводит к повышению осмотического давления почвенных растворов и уменьшению доступности воды растениям. При уменьшении содержания в почвах гумуса происходит его минерализация и сужение отношения гуминовых к фульвокислотам. Развивающаяся дефляция почв сопровождается облегчением гранулометрического состава, потерей структуры. Все указанные явления сопровождаются неблагоприятным в экологическом и агрономическом отношении изменением физико-химических и агрохимических свойств почв.

Однако, как указывалось ранее, опустынивание может быть обусловлено несколькими причинами. Эти факторы действуют на почву, рельеф, растительность, грунтовые воды. При действии этих факторов на указанные компоненты возможны явления синергизма, антагонизма и аддитивного взаимодействия. Несколько причин действует и на почву (ее свойства, процессы и режимы). Здесь также возможны явления синергизма, антагонизма и аддитивного взаимодействия. При этом, устойчивость отдельных почв к конкретным факторам опустынивания неодинакова. На разных этапах развития опустынивания она также изменяется.

Опустынивание участков приводит к опусканию уровня грунтовых вод и аридизации территорий, к уменьшению биопродуктивности сопредельных территорий, к аэральному переносу на соседние участки солей, илистых и пылеватых частиц, к засолению грунтовых вод. В гидрологии вне лесных территорий отмечается ряд тревожных тенденций – постепенно уменьшается сток, и исчезают многие малые реки в Поволжье, Сибири, на Украине, в Казахстане. Увеличивается общая загрязненность речных вод нитратами, фосфатами, биоцидами, нефтеотходами, патогенными микроорганизмами; сокращается площадь озер и увеличивается минерализация в них воды; углубляется уровень подземных вод и растет их соленость (Безуглова О.С., Орлов Д.С., 2000).

# Пути оптимизации обстановки

Для оптимизации экологической ситуации при развитии опустынивания необходим мониторинг земель, прогноз протекающих процессов и выполнение рекомендаций по уменьшению воздействия на почвы факторов их деградации, по оптимизации свойств почв при возникающей деградации. На рис. 20 приведена карта-схема развития почвенной засухи на Ишим-Тобольском водоразделе по данным Виноградовой Б.В. (1984).

Большие нагрузки на природную среду регионов потенциального опустынивания промышленных комплексов, селитебных агломераций и сельскохозяйственного освоения ведут к образованию техногенных пустынь, территория которых уже составила 9 млн. км2 или 7% площади суши. Классическим примером распространения процессов опустынивания в России является Калмыкия, где засолено 37% орошаемых земель, а пахотные почвы в восточной части республики превратились в огромные массивы развеваемых песков (рис. 21) (Сладкопевцев С.А., 1996).

Мониторинг земель, подверженных опустыниванию или потенциально податливых опустыниванию, позволяет найти территории в наибольшей степени нуждающиеся в оптимизации экологической обстановки. В ряде случаев, уничтожение очагов опустынивания позволяет сдержать развитие процесса на большей территории. Большое значение имеет прогноз развития процессов опустынивания. Пример такого прогноза приведен в следующей таблице.

Таблица 16

Показатели вероятности засухи в зависимости от погодных условий

(по Кабанову П.Г.), %

Показатель : Вероятность засухи, %

суммарная ФАР за сентябрь + октябрь предшествующего года

> 66,57 кДж/см2 90

суммарная ФАР – « - < 66,57 10

суммарная ФАР за март, более 36 91

менее 36 9

продолжительность солнечного сияния в сентябре, более 180 часов 56

менее 180 10

в марте - > 1104 часов 71

< 1104 8

Правильный прогноз развития опустынивания под влиянием различных факторов позволяет найти более рациональные пути сельскохозяйственного использования земель. К путям оптимизации обстановки относятся: уменьшение доли распаханности территории, лесопосадки, орошение, посев засухоустойчивых культур, борьба с вторичным засолением и осолонцеванием почв, регулирование выпаса скота и т.д.

**13. Экологическая роль обеднения почв элементами питания**

### Значимость проблемы

Ковда В.А. подчеркивает, что процветающее высокопродуктивное сельское хозяйство – лучшее средство управления экологическими системами, сохранения и совершенствования окружающей человека среды. Ограниченные ресурсы пригодных для обработки земель и воды для орошения, а также постоянная необходимость обеспечения населения продуктами питания требуют всемерной интенсификации сельскохозяйственного производства. Однако, пределы урожайности определяются следующими факторами: 1) биологическими возможностями растений (видов и сортов) потреблять элементы питания и солнечную энергию; 2) поступлением фотосинтетически активной радиации и возможностью ее использования (что определяется и структурой посевов и экспозицией склонов и длиной вегетационного периода на разных почвах); 3) наличием в почве элементов питания в доступной форме в заданном соотношении, в определенном месте и в определенные сроки. Это определяется емкостью поглощения почв по отношению к элементам питания, способностью их трансформировать, перераспределением по почвенному профилю и в сезонной динамике.

Недостаток элементов питания в почве не позволяет получить высокие урожаи, а следовательно, обеспечить население продуктами питания. В то же время, по данным ЦИНАО (Державин Л.М.), в целом по России суммарный вынос азота, фосфора и калия сорняками составляет около 6 млн. тонн (около половины их выноса урожаем культурных растений), что в 2 с лишним раза превышает поступление их с органическими и минеральными удобрениями (2,5 млн. тонн). Недостаточная обеспеченность почв элементами питания не позволяет полностью использовать потенциал сортов сельскохозяйственных культур, который реализуется менее, чем на половину.

В результате низкие урожаи сельскохозяйственных культур не оправдывают затраты на их получение и на применение удобрений. В отдельных районах России урожай зерновых составляет до 4 ц/га, при урожаях в высокоразвитых странах до 120 ц/га. По экономическим причинам только 20% производимых в России минеральных удобрений (1,5 млн. тонн д.в-ва) используется в отечественном земледелии или, в среднем, 12 кг действующего вещества на 1 га, в то время, как в развитых зарубежных странах, 200-350 кг/га. Органических удобрений используется в России, в среднем, 0,7 т/га, а в развитых странах – 15-25 тонн.

Низкий уровень плодородия почв, обеднение их элементами питания в сочетании с низким уровнем химизации сельскохозяйственного производства, достигнутым за последние годы, привели к засоренности полей, развитию болезней и вредителей, загрязнению среды, нарушению экологической обстановки, к малой эффективности и рентабельности сельскохозяйственного производства.

### Состояние проблемы обеспеченности почв элементами питания

Баланс элементов питания в почвах

В длительных опытах установлено, что расход питательных веществ на производство сельскохозяйственной продукции и непроизводительные потери должны компенсироваться. Без внесения минеральных удобрений постепенно наступает истощение почв и, как следствие, уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур и деградация почв. Для прогнозирования указанных процессов, на основании экспериментальных данных, проводится расчет баланса содержания питательных веществ для систем почва-удобрение, почва – удобрение – растение, почва – удобрение – растение – окружающая среда. На основании справочных данных проводится расчетный баланс для севооборотов, отдельных хозяйств (производственный); для почвенно-растительных экосистем (зональный); для административных и экономических районов (региональный).

Главная статья расхода элементов питания – вынос их с урожаем. Значительное место занимает вынос элементов питания с сорняками. Неизбежная расходная статья баланса – непроизводительные потери элементов питания (выщелачивание из корнеобитаемого слоя, потери при эрозионных процессах и газообразные потери азота). При этом, потери азота в зонах избыточного увлажнения могут достигать 25-30 кг/га, а потери за счет денитрификации в воздух 10-20% от дозы внесенного азотного удобрения и, в среднем, 6 кг/га из почвы. С 1 гектара эродированных земель теряется 18-20 кг азота, 5-10 кг фосфора и 12-24 кг калия.

Ниже показана необходимость расчета баланса элементов питания в почвах, на примере оценки калийного состояния почв. При возделывании зерновых культур ежегодно с поля с урожаем отчуждается до 50-60% калия из 30-60 кг К2О на 1 га потребленного растениями калия. С урожаем сахарной свеклы, картофеля, капусты, подсолнечника вынос калия с поля может достигать до 200-300 и более кг на 1 га, даже в случае, если 30-40% К2О остается с ботвой и корневыми остатками в поле. При этом, от 20 до 50% всего вынесенного калия используется сельскохозяйственными культурами из подпахотных горизонтов (Прокошев В.В., Дерюгин И.П., 2000).

Поставка калийных удобрений сельскому хозяйству России достигла наибольшего количества в 1987 году – 2,8 млн. тонн К2О или, в среднем, 23 кг на 1 га пашни. С 1991 происходит резкий спад поставок калия на внутренний российский рынок. В настоящее время большая часть пашни не получает калия, а, в среднем, ежегодная доза составляет 1,5-2,0 кг/га. При этом, ежегодный дефицит баланса калия в земледелии России составляет более 30 кг К2О на 1 га (Прокошев В.В., Дерюгин И.П.). Состояние обеспеченности почв калием хорошо иллюстрируется экспериментальными данными по балансу калия для севооборота и Центрального экономического района.

Таблица 17

Экспериментальный баланс калия за ротацию пятипольного севооборота

(Прокошев В.В.)

Вариант опыта :Сбор к.ед. за :Вынос К2О за год :Баланс, кг/га :К обменный, мг/кг

:год, ц/га :с урожаем, кг/га : :

0 20,6 30 - 30 67

N60P60 27,6 37 - 37 69

+ К144 + 8,2 + 48 + 59 155

Таблица 18

Баланс калия (К2О) в почвах Центрального экономического района за 1 год

(Шафран С.А., Янишевский Ф.В., 1998)

Годы : Поступление в почву, кг/га :Вынос :Баланс : Доля почв с содержанием

:----------------------------------------------:урожаем : кг/га : калия

:с минераль- :с органичес- : всего :кг/га : :----------------------------------

:ными удоб- :кими удоб- : : : : низким : высоким

:рениями :рениями : : : : :

1986-90 54,6 26,7 81,3 44,9 36,3 25,4 20,3

1997-98 0,7 3,8 4,5 15,8 - 11,3 32,4 14,9

Полезную экономическую и экологическую информацию дает вычисление баланса элементов питания в почвах в целом для страны. Для получения высоких и стабильных урожаев расход азота и калия должен компенсироваться на 100%, а приходные статьи по фосфору должны превышать расходные в 1,5-2 раза. В лесостепной зоне интенсивность баланса может быть несколько ниже (по азоту - 85-90%, фосфору – 150-200% и калию – 50-60%). В степной зоне интенсивность баланса по фосфору должна составлять 200-250%, по азоту 60-75%, калию – 25-30%.

По данным Сычева В.Г., фактическая интенсивность баланса в Нечерноземной зоне с 1971 по 1990 годы по азоту составляла 120-200%, фосфору – 260-640%, калию – 100-220%. В районах лесостепи и степи интенсивность баланса по азоту к 1990 году достигла 120-130%, фосфору – 250-260%, калию – 50-80%. В районах сухостепи интенсивность баланса по азоту с 1971 по 1990 год возросла от 70 до 10%, фосфору от 70 до 210%, калию – от 20 до 40%. В настоящее время в почвах России наблюдается отрицательный баланс по азоту (2,7- 15,6 кг/га), фосфору (1,5-6,5 кг/га), калию. При этом по отдельным регионам отрицательный баланс по азоту достигает 15,6 кг/га, по фосфору – 6,5 кг/га, калию до 44,9 кг/га (Северо-Кавказский регион). При таком балансе без внесения удобрений в течение 3-5 лет урожайность достигает уровня 50-х годов, когда сбор зерновых составлял 7,4 ц/га, сахарной свеклы – 105 ц/га, подсолнечника – 5,1 ц/га, картофеля – 81 ц/га. Как указывает Сычев В.Г., данные по интенсивности баланса азота, фосфора и калия в почвах России в 1996-98 г.г. свидетельствуют о том, что низкий уровень применения удобрений ведет к падению почвенного плодородия. По данным автора, дальнейшее выращивание сельскохозяйственных культур без применения удобрений в течение 10-15 лет приведет к снижению содержания элементов питания в почве до уровня 1965-1970 годов.

Низкие урожаи сельскохозяйственных культур связаны с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями Нечерноземной зоны: недостатком тепла, большим процентом переувлажненных почв, неудовлетворительными физическими свойствами, низкой культурой земледелия. В то же время до 25% хозяйств России, освоив научные системы применения удобрений в комплексе с другими приемами агротехники, получают устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур. В опыте ВИУА в Смоленской области (длительностью 17 лет) на произвесткованной почве при сочетании органических (10 т/га) и минеральных N80P80K80 удобрений (80 кг действующего вещества на 1 га) удалось в течение двух ротаций поддерживать продуктивность севооборота на уровне 46-48 ц/га зерновых единиц. В аналогичном опыте ВИУА в Московской области (длительностью 20 лет) при использовании органоминеральной системы удобрений (в среднем за год 12,5 т/га навоза и N127P75R176) среднегодовая продуктивность составила 50 ц/га зерновых единиц, а оплата 1 кг удобрений – 6 кг зерновых единиц (Милащенко Н.З.).

### Экологическое значение обеднения почв элементами питания

Обеднение почв элементами питания вызывает, как правило, нарушения экологического равновесия. Данный уровень сопровождается потерей биопродуктивности угодий, что приводит к усилению развития водной и ветровой эрозии, уплотнения, загрязнения почв, к увеличению засоренности и к более интенсивному развитию патогенных микроорганизмов. Обеднение почв элементами питания приводит к ухудшению водно-физических свойств почв, гумусового состояния, падению урожайности и ухудшению качества сельскохозяйственной продукции.

Азотное удобрение выступает, в значительной мере, как разрешающее условие минимизации обработки почвы, использования соломы в качестве мульчи, сокращения доли чистого пара в севообороте, их специализации. Без применения фосфорных удобрений резко снижается эффективность чистого пара, увеличиваются потери минерального азота из почвы, вследствие неполного его использования растениями при дефиците фосфора. Стартовое рядковое удобрение ускоряет рост вторичной корневой системы зерновых злаков, что имеет нередко решающее значение в формировании их урожая. Применение удобрений позволяет предотвратить или смягчить воздействие различных стрессов, повышая приспособляемость растений к неблагоприятным условиям, их засухоустойчивость, морозоустойчивость и т.п.

Удобрения оказывают существенное влияние на устойчивость растений к болезням. В частности, фосфорное удобрение, способствуя усилению развития корневой системы, повышает сопротивляемость растений к внедрению и развитию патогенов. Калийные удобрения, способствуя утолщению клеточных стенок, повышению прочности механических тканей, существенно сдерживают развитие грибковых болезней. Противоположную роль в этом отношении играет избыточное азотное питание растений, стимулирующее их возникновение. Сбалансированное удобрение в интенсивных технологиях возделывания зерновых культур ослабляет патологический процесс, но нередко приходится прибегать к фунгицидным обработкам, особенно, в случае низкой устойчивости сорта к болезням при высоком уровне азотного питания (Кирюшин В.И.).

При обеднении почв большое количество питательных веществ непроизводительно отчуждается из удобрений и почвы сорняками, так как они более жизнеспособны и устойчивы к недостатку элементов питания, по сравнению с культурными растениями и особенно сортами интенсивного типа. Около 98% пашни в России засорено, в том числе, около 100 млн. га в средней и сильной степени. Общий вынос питательных веществ сорняками составляет не менее 10-12 млн. тонн в год, или около половины питательных веществ, производимых в стране минеральных удобрений (Минеев В.Г.).

**14. Скрытое отрицательное действие удобрений**

# Значимость проблемы

С усилением антропогенного воздействия на почву все более усложняются взаимосвязи в системе почва-растение, актуальным становится вопрос взаимодействия почвы в экологической системе. Внесение удобрений и мелиорантов в почву, в значительной степени, изменяет свойства почв, подвижность и доступность элементов питания. В ряде случаев возникает скрытое отрицательное действие удобрений, когда при улучшении одного показателя, одновременно ухудшаются другие показатели почвенного плодородия, что приводит, в конечном итоге, к уменьшению урожая с/х культур, ухудшению их качества, снижению эффективности применения удобрений. Причем подобные явления возникают не только при высоких дозах химикатов, но при небольших дозах вблизи гранул удобрений и мелиорантов. Все, что вносится в почву, реагирует в ней с другими компонентами, и для эффективного ведения производства необходим строгий физико-химический расчет и прогноз протекающих процессов.

На эффективность удобрений влияют различные факторы. Согласно обзора Международного института калия, доля влияния различных агротехнических факторов на эффективность удобрений составляет следующий порядок величин: плохая плохая подготовка почвы к посеву – 10-25%; низкое качество посевного материала – 5-20%; несоблюдение сроков сева – 20-40%; неудачный выбор сорта – 20-40%; несоответствие густоты посева – 10-25%; неправильное внесение удобрений – 5-10%; нарушение режима осушение-орошение – 10-20%; засоренность посевов – 15-20%; поражение болезнями и вредителями – 5-20%; несбалансированное применение удобрений – 20-50%. Таким образом, несбалансированное применение удобрений является важным фактором деградации почв и агрофитоценозов, причиной низких урожайностей сельскохозяйственных культур, невысокой экономической эффективности применения удобрений и мелиорантов в ряде хозяйств.

Влияние различных факторов на урожайность с/х культур оценивается следующим образом (%): удобрения – 41; гербициды – 15-20; благоприятная почва – 15; гибридные семена – 8; ирригация – 5; прочие факторы – 11-16. По статистике ФАО внесение 1 кг питательных веществ удобрений (N + P2O5 + K2O) в среднем дает прирост урожая пшеницы 7,3 кг, риса – 8,5; кукурузы – 8,8; хлопчатника – 2,7. Однако, в реальных условиях России эффективность применения минеральных удобрений значительно ниже. На практике в ряде хозяйств применение удобрений и других средств химизации не дает положительного эффекта из-за общего низкого уровня земледелия – плохого качества посевного материала и посева; несоблюдения агротехнических требований подготовки поля, отсутствия севооборота, недостаточной надежности и мощности уборочной техники, недостатком знаний в вопросах химизации (Артюшин А.М., Дерюгин И.П. и др., 1991).

Каждое поле и культура требуют конкретных комплексных технологий получения наивысших урожаев заданного качества. Недооценка системных связей, упрощенный подход к интенсивному земледелию, как к простой совокупности технологический приемов, практически повсеместно ведут не только к недобору урожая, но и к избыточному экологически опасному накоплению в агроценозах продуктов химизации. Следует отметить, что чем более уравновешены и оптимизированы условия питательного режима в почве, тем более экономно расходует растение элементы питания для получения урожая и меньше необходимо внести удобрений для изменения содержания их подвижных форм элементов питания в почве на единицу. Для предотвращения негативного действия химизации на агрофитоценозы необходим расчет взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой и прогноз их поведения в экосистеме. Необходимо изучение поведения удобрений в ландшафте с привлечением биогеохимических методов исследований, развитие агрогеохимии (Ковда В.А., 1984).

*Факторы деградации*

Минеев В.Г. (1990) выделяет следующие негативные последствия воздействия химизации земледелия на природную среду: 1) неправильное применение минеральных удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почв; 2) нарушение технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить урожай сельскохозяйственных культур и качество растениеводческой продукции; 3) нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами способствует развитию грибных и прочих болезней, ухудшает фитосанитарное состояние посевов; 4) попадание питательных элементов из удобрений и почвы в грунтовые воды и в водоемы с поверхностным током может привести к усиленному развитию водорослей и образованию планктона, т.е. к эвтрофикации природных вод; 5) потери некоторых соединений азота в атмосферу отрицательно сказываются на жизнедеятельности; возможно разрушение озонового слоя.

Скрытое отрицательное действие удобрений может проявляться по влиянию его на почву, растения, окружающую среду. При составлении алгоритма расчета необходимо учитывать следующие процессы:

1. Влияние на растения: уменьшение подвижности других элементов в почве; в качестве путей устранения отрицательных последствий применяется регулирование эффективной растворимости и эффективной константы ионного обмена, за счет изменения Eh и рН, ионной силы, комплексообразования; внекорневая подкормка и внесение в прикорневую зону, регулирование избирательности растений.

2. Ухудшение физических свойств почв: в качестве путей устранения отрицательных последствий применяются прогноз и сбалансированность системы удобрений, применение структурообразователей, приемов улучшения структуры почвы.

3. Ухудшение водных свойств почв: в качестве путей устранения отрицательного последствия применяются прогноз и сбалансированность системы удобрений; улучшение водного режима за счет мелиорации; применение компонентов, улучшающих водный режим.

4. Уменьшение поступления веществ в растения, конкуренция за поглощение корнем, токсикация, изменение заряда корня и прикорневой зоны; в качестве путей устранения отрицательных последствий применяются сбалансированность системы удобрений; внекорневая подкормка растений.

5. Проявление несбалансированности в корневых системах, нарушение циклов метаболизма; пути устранения отрицательных последствий указаны в п.4.

6. Появление несбалансированности в листьях, нарушение циклов метаболизма, ухудшение технологических и вкусовых качеств; пути устранения отрицательных последствий – по п.4.

7. Токсикация микробиологической активности; в качестве путей устранения отрицательных последствий применяются сбалансированность системы удобрений; увеличение буферности почв; внесение источников питания для микроорганизмов.

8. Токсикация ферментативной активности; пути устранения отрицательных последствий – по п. 7.

9. Токсикация животного мира почвы; в качестве путей устранения отрицательных последствий применяются сбалансированность системы удобрений, увеличение буферности почв.

10. Уменьшение адаптации к вредителям и болезням, экстремальным условиям, в связи с перекормом; в качестве мер устранения отрицательных последствий рекомендуется оптимизация соотношения элементов питания; регулирование доз удобрений; интегрированная система защиты растений; применение внекорневой подкормки.

11. Потери гумуса, изменение его фракционного состава; в качестве путей устранения отрицательных последствий можно применять внесение органических удобрений, создание структуры, оптимизация рН и Eh, регулирование водного режима, сбалансированность системы удобрений.

12. Ухудшение физико-химических свойств почв; пути устранения – оптимизация системы удобрений, внесение мелиорантов, органических удобрений.

13. Ухудшение физико-механических свойств почв; меры устранения отрицательного влияния – по п. 12.

14. Ухудшение воздушного режима почвы; для устранения отрицательного действия необходимо оптимизировать систему удобрений, вносить мелиоранты, создавать структуру почвы.

15. Почвоутомляемость; необходимо сбалансировать систему удобрений, строгое выполнение плана севооборота.

16. Появление токсичных концентраций отдельных элементов; для снижения отрицательного влияния необходима сбалансированность системы удобрений, увеличение буферности почв, осаждение и удаление отдельных элементов, комплексообразование.

17. Увеличение концентрации отдельных элементов в растениях выше допустимого уровня; необходимо снижение норм удобрений, сбалансированность системы удобрений, внекорневая подкормка с целью конкуренции поступлению токсикантов в растения, внесение в почву антагонистов токсикантов.

*Уровни воздействия*

Применение минеральных удобрений достигает от 60 до 200 кг действующего вещества отдельных компонентов (N,P,K) на гектар. Это соответствует внесению на поля до 10-30 ц туков. Дозы мелиорантов достигают 2-12 т/га СаСО3 и СаSO4; дозы органических удобрений – 12-30 т/га; дозы микроудобрений – 3-5 кг/га. Помимо основного действующего вещества во вносимых в почву удобрениях и мелиорантах содержится значительное количество примесей, в том числе токсичных для биоты и растений. Длительное применение средств химизации приводит к постепенному накоплению этих токсикантов в почве.

Отрицательное влияние на биоту может оказывать фтор, в значительном количестве содержащийся в фосфорных удобрениях. Длительное внесение в почву суперфосфата, который обычно содержит 1,5% фтора, приводит к быстрому накоплению в почве фтора, непосредственно доступного растениям (аммофос содержит 3-5% фтора). Так, например, в свекловичных районах применяют до 830 кг/га суперфосфата в год. Одновременно с таким количеством суперфосфата вносится 11 кг фтора. С каждой тонной необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора. Естественно, это приводит к накоплению фтора в почве и в растениях. Так, например, на мощном черноземе Мироновского НИИССП в опыте с бессменной культурой общее содержание фтора в почве возросло на 22-28%. Содержание фтора в пшенице на территории России, где применяются относительно небольшие дозы удобрений, составляет 0,8-1,7 мг/кг сухого вещества, а во Франции до 10 мг на 1 кг; в США – до 8.

Значительное отрицательное влияние на биоту оказывает кадмий. Содержание кадмия в суперфосфате достигает 170 мг/кг (в среднем – 36-40). До 15 мг кадмия на 1 кг содержится в известняке; от 1до 170 мг/кг – в калийных отложениях; 0,4 мг на 1 кг – в сухой массе навоза; до 50 мг/кг – в осадках городских сточных вод; до 180 мг/кг – в сапропеле. Ежегодное внесение в почву удобрений и мелиорантов, содержащих кадмий, естественно, приводит к его накоплению в почве и в растениях. При этом до 80% кадмия, внесенного в почву, может удерживаться в пахотном слое. Содержание кадмия в растениях достигает 10-20 мг на 1 г растений, что отмечается при содержании его в почве порядка 10 мг/кг. При современном уровне химизации на каждый гектар сельскохозяйственных угодий поступает не более 3 г кадмия. При такой интенсивности загрязнения почв для достижения допустимой концентрации кадмия – 0,1 мг/кг – потребуется 100 лет (Минеев В.Г., 1990). Предельно допустимая концентрация внесения кадмия в почву с удобрениями составляет до 4 г/га в год (содержание кадмия в пахотном слое составляет около 0,55 кг/га). ПДК для кадмия в почве находится в диапазоне 1-5 мг/кг.

Повышенные концентрации мышьяка обнаруживаются в пахотных почвах, на которых сельскохозяйственные растения обрабатывались мышьяковистыми препаратами, и на почвах, подверженных техногенному загрязнению. Накопление мышьяка возможно и при использовании минеральных удобрений, в разной степени загрязненных этим элементом. В двойном суперфосфате содержание мышьяка может достигать 300 мг/кг, в аммиачной селитре 60 мг/кг. С нитратами, сульфатами, мочевиной в почву попадает от 1 до 10 г/га мышьяка, с двойным суперфосфатом – до 30-300 г/га в год (Минеев В.Г., 1990). Токсичная концентрация в почве мышьяка соответствует 50 мг/кг; умеренно токсичная концентрация в питательных растворах – 1-100 мг/л.

В некоторых фосфоритах содержится значительное количество цинка (до 1300 мг/кг), некоторое количество его содержится и в других удобрениях.

Свинец присутствует в минеральных удобрениях, извести и навозе, достигая в некоторых удобрениях до 300 мг/кг; в навозе до 10 мг/кг; в осадках городских сточных вод от 13 до 19730 мг на 1 кг сухой массы. Согласно санитарным правилам, в качестве удобрений, на полях могут применяться осадки сточных вод, содержащие не более 15 мг свинца на 1 кг.

Содержание ртути в соединениях, из которых производят удобрения, колеблется от месторождения и составляет до 10 мг/кг, но чаще до 1 мг/кг.

Для мелиорации солонцовых почв активно применяют фосфогипс – отход производства суперфосфата, содержащий до 1,5% фтора и 1,8-2% стронция. Сапропели, как правило, содержат значительное количество кадмия (до 180 мг/кг сухой массы). В навозе, в среднем, содержится 0,4 мг кадмия и 6,8 мг свинца на 1 кг сухого вещества. Наибольшее количество токсикантов содержится в осадках сточных вод и в ряде случаев в илах озер, в загрязненных районах – в низинных торфах.

*Теоретические закономерности поведения токсикантов в почвах,*

*изменение свойств почв*

Основными причинами появления скрытого отрицательного действия удобрений в почвах являются: 1) несбалансированное применение различных удобрений; 2) превышение применяемых доз, по сравнению с буферной емкостью отдельных компонентов экосистемы; 3) направленный подбор форм удобрений для отдельных типов почв, растений и условий среды; 4) неправильные сроки внесения удобрений для конкретных почв и условий среды; 5) внесение вместе с удобрениями и мелиорантами различных токсикантов и их постепенное накопление в почве выше допустимого уровня.

При внесении чрезмерно высоких доз азотных удобрений, особенно при несбалансированности азота с другими элементами минерального питания, происходит накопление нитратов, как в водоемах и грунтовых водах, так и в растениеводческой продукции. Избыточное внесение в почву NH4 приводит к ее диспергированию, как и при большой дозе в ППК (более 5% от емкости поглощения) ионов калия и натрия. Внесение в кислые почвы (NH4)2SO4 приводит к значительному подкислению почв (в некоторых черноземах от рН=7,0 до рН=4,8), что сопровождается уплотнением почв, потерей структуры, недостатком кальция и магния, появлением избыточных концентраций марганца и алюминия. Это приводит как к падению урожайности, так и к ухудшению качества с/х продукции – уменьшению сахаристости сахарной свеклы, крахмала в картофеле, масла в подсолнечнике и т.д. Применение высоких доз азотных удобрений на затопляемых почвах (почвах рисовых полей), в связи с интенсивно развивающимися процессами денитрификации, приводит не только к значительным (до 70%) потерям азота, но и к поступлению недоокисленных соединений азота в атмосферу, приводящему к разрушению озонового слоя.

При внесении высоких доз калийных удобрений возможно диспергирование почв, нарушение соотношения в ППК и в почвенном растворе Са:К, часто к избыточному подщелачиванию почв. Как правило, это происходит при доле калия в ППК более 5-10% от емкости поглощения.

Применение необоснованно высоких доз фосфорных удобрений, особенно при длительном их внесении, приводит к накоплению в почве тяжелых металлов и вовлечению их в трофические цепи, что вредит здоровью людей и животных. Повышенные дозы фосфорных удобрений могут вызывать осаждение поливалентных металлов, Cu, Zn, Ni, Co.

Чрезмерное известкование почв и доведение рН до 7-8 не только приводит к затруднению поглощения растениями отдельных элементов, но и к осаждению в виде трудно растворимых осадков Cu, Zn, Ni, Co, Mn, P; к изменению в неблагоприятную сторону соотношения Са:К.

Одним из факторов деградации почв при интенсивной химизации является уменьшение содержания в почвах гумуса и ухудшения его состава. Главными причинами потерь гумуса пахотными почвами Орлов Д.С. (1985) считает уменьшение количества растительных остатков, поступающих в почву, при смене естественного биоценоза агроценозом; усиление минерализации органического вещества, в результате интенсивной обработки и повышения степени минерализации почв, разложение и биодеградацию гумуса под влиянием физиологически кислых удобрений и активизации микрофлоры за счет вносимых удобрений, усиление минерализации в результате осушения переувлажненных почв, усиления минерализации гумуса орошаемых почв в первые годы орошения, потери гумуса в результате водной и ветровой эрозии.

**15. Использование в сельском хозяйстве пестицидов, как фактор риска**

**функционирования экосистем**

*Значимость проблемы*

По оценке ФАО (1989) каждый год от насекомых вредителей, болезней растений и сорняков мировое сельское хозяйство несет убытки в 75 млрд. долларов. Потенциальные потери урожая в России достигают 71,3 млн. т зерновых единиц: на долю возбудителей болезней приходится 45,1% потерь, сорных растений – 31,4%, вредителей растений – 23,5% (Соколов М.С. и др., 1994). Для отдельных культур потери приведены в таблице 19.

Большое количество питательных веществ непроизводительно отчуждается из удобрений и почвы сорняками. При средней засоренности посевов сорняки выносят не менее 200 кг/га NPK. При засоренности в России 98% площадей общий вынос питательных веществ сорняками составляет 10-12 млн. т в год или около половины питательных веществ производимых в стране минеральных удобрений (Минеев В.Г., 1990).

Таблица 19

Потери урожая сельскохозяйственных культур в мировом земледелии

(Соколов М.С. и др., 1994)

Культура : Потери урожая в % от

:-------------------------------------------------------------------------------------

: вредителей : болезней : сорняков : итого

пшеница 5,0 9,1 9,8 23,9

кукуруза 12,4 9,4 13,0 34,8

просо, сорго 9,6 10,6 17,8 38,0

рис 26,7 8,9 10,8 46,4

хлопчатник 11,0 9,1 4,5 24,6

соя 4,5 11,1 13,5 29,1

картофель 6,5 21,8 4,0 32,3

томаты 7,5 11,6 5,4 24,5

Защита растений от вредителей и болезней, уничтожение сорняков создает условия для формирования высоких урожаев с/х культур. Однако, использование пестицидов приводит к существенным негативным последствиям для многих компонентов экосистемы. В 1987 году 30% продуктов питания в России содержали концентрацию пестицидов, опасную для здоровья. Систематическое применение гербицидов (подряд 3 года и более) полностью снижает эффект от нового, более эффективного сорта или гибрида (Шатилов И.С., 1991).

Установлено, что от прямого отравления пестицидами в мире ежегодно погибает около 10 тысяч человек, гибнут леса, птицы, насекомые. Значительная часть пестицидов оказывает мутагенное действие. В настоящее время отмечаются высокие загрязнения почв фосфорорганическими пестицидами (фозалоном, метафосом), гербицидами (2,4-Д, трефланом, трихлорацетатом натрия и др.).

*Экологические последствия применения пестицидов*

Применение пестицидов является важным фактором увеличения урожайности с/х культур, однако, чаще связано со значительными отрицательными экологическими последствиями:

1) Появляются новые виды болезней, вредителей, сорняков, которые раньше не являлись конкурентами для получения урожая.

2) Разрушаются связи в биогеоценозах.

3) При появлении устойчивости к препаратам происходит вспышка численности отдельных видов.

4) Происходит значительное уничтожение насекомых-опылителей цветковых растений (погибает до 10-20% пчелиных семей); при этом больше гибнут сильные особи, посещающие большее количество обработанных пестицидами растений.

5) После освобождения с помощью гербицидов от сорняков «первого поколения» поля заселяют более устойчивые к ним виды.

6) Происходит гибель животных и птиц (в 70-х годах, в СССР от отравления погибло до 40% лосей, кабанов, зайцев; более 77% боровой дичи; более 30% рыб.

7) Возрастает устойчивость к пестицидам – резистентность.

8) Угнетаются биологические процессы в почвах, происходит гибель отдельных групп микроорганизмов (медьсодержащие пестициды угнетают процесс нитрификации; возможна стерилизация почвы, доминирование фитопатогенных микроорганизмов).

9) Происходит загрязнение вод (по данным Каспийского НИРХа, в нижнем течении Волги содержание ядохимикатов иногда превышает допустимые нормы в тысячи раз. Нетоксичных для человека пестицидов нет. Существует вероятность аллергенных, гонадотоксичных, канцерогенных, кожно-резорбтивных, мутагенных, бластомогенных, эмбриотоксичных и эмбриотропных воздействий на людей (Мосина Л.В., 2000).

10) Остаточные количества пестицидов аккумулируются и биокоцентрируются в пищевых (трофических) цепях.

11) Происходят генетические изменения в организмах растений, животных и человека, других биообъектах; нарастает вероятность отдаленных последствий.

К районам экологического риска относятся районы рисосеяния, овощеводства, многолетних плодовых насаждений.

Для прогноза поведения пестицидов в почвах важна их классификация, в зависимости от поведения при адсорбции. Выделяются катионные пестициды (дипиридилы), щелочные (симтриазины), кислые (симтриазоли, хлорфеноацетатная кислота, бензойная кислота, пиколиновая кислота, фенолы), неионные пестициды (органо-галогенные углеводороды, фосфорорганические соединения, динитроанилин, фенилкарбаматы, фенилмочевина, анилид, фениламид, тиокарбонаты, бензонитрилы) (Реуце К., 1986).

*Превращение пестицидов в почве*

Поглощение пестицидов почвами

По данным Горбунова Н.И. и Орлова Д.С. (1977), поглощение органических веществ минеральной частью почвы зависит от следующих факторов: 1) структурно-геометрических условий – межслоевого расстояния в минералах, размера и формы молекул органических веществ, их конденсатов, микрорельефа, поверхности минералов; 2) природы сил связи; 3) химического состава реагирующих частиц; 4) состояния веществ – степени пептизации, дисперсности, окристаллизованности, старения, состояния геля или золя, гидрофильности и гидрофобности, присутствия и размера защитных пленок; 5) условий среды.

По данным ряда авторов, адсорбция пестицидов почвами зависит от типа почв и характеризуется константой адсорбции, которая является относительно постоянной величиной. Адсорбция зависит от емкости обмена почв, рН, содержания органического вещества (Osgerby J.M., 1973), от химического сродства компонента к почве ( Xaron Bruno, 1975), от удельной поверхности почв (Mustafa M.A., 1972), от насыщенности почв основаниями (Singhal J.P., 1976), от образования комплексов, степени разбухания минерала, слоевого заряда, концентрации пестицида, времени взаимодействия, природы обменных катионов (Sanchez Camazano M, 1977), от содержания органического вещества и глины (Witt W.W., 1975). Очевидно, что для разных групп пестицидов природа их сорбции будет неодинаковой, а следовательно, и разные свойства почв будут в наибольшей степени определять адсорбцию.

Важное значение при оценке поведения пестицидов в почвах имеет природа их сорбции. Muller-Wegener U. (1977) установлено, что гуминовые кислоты образуют с симм-триазинами электронные донорно-акцепторные комплексы. По данным Gumar Y. (1975), адсорбция диквата и пераквата почвами аридной зоны подчинялась линейной форме уравнения Лонгмюра и включала два механизма – сильную адсорбцию и адсорбцию обменной природы, обусловленную электростатическими взаимодействиями. Singhal J.P. (1976) отмечает для адсорбции никотина на каолините и телона на иллите хемосорбцию.

Реуце К. (1986) приводит следующие механизмы адсорбции пестицидов: а) адсорбция силами Ван-дер-Ваальса – включение в процесс адсорбции неионных молекул пестицидов в недиссоциированном состоянии на почвенных адсорбентах (адсорбция карбарила и паратиона почвенным органическим веществом, а также пиклорама гумусовыми веществами); б) адсорбция гидрофобными взаимодействиями путем связывания гидрофобных участков неполярной части молекулы органического вещества почвы с пестицидом (этот тип связи характерен для адсорбции хлорорганических инсектицидов на органическом веществе почвы, он чаще не зависит от рН); в) адсорбция водородными связями, при которой атом водорода формирует мостик между двумя отрицательно заряженными атомами (один из них связан ковалентной связью, а другой – электростатическими силами; этот механизм проявляется при адсорбции симм-триазинов органическим веществом почвы, а также органических пестицидов глинистыми минералами); г) адсорбция передачей электронов от доноров к акцептору (этот механизм связи отмечается при образовании комплексов между гумусовыми веществами и гербицидами на основе дипиридилов); д) адсорбция за счет ионного обмена, что отмечается при адсорбции таких гербицидов, как паракват и дикват органическим веществом и глинистыми минералами; при сорбции пестицидов со слабощелочной реакцией; е) адсорбция за счет образования координационных связей путем обмена лигандами (это отмечается в том случае, когда ионы переходных металлов становятся центрами адсорбции на поверхности илистых частиц.

При поглощении пестицидов почвой возможно как катализирование, так и ингибирование их разложения. Ингибирование их разложения будет наблюдаться при их сорбции в межпакетном пространстве минералов, при блокировке их различными пленками, при увеличении прочности связи с твердой фазой функциональных групп сорбата, подвергающихся разложению. Увеличение разложения и его катализ будут наблюдаться в том случае, если при сорбции функциональные группы сорбата, подвергающиеся разложению будут связаны с остальной молекулой и твердой фазой менее прочно, а также в том случае, если будут созданы лучшие условия развития микроорганизмам, участвующим в разложении.

Разложение пестицидов в почве

Пестициды в почве подвергаются разложению, обусловленному небиотическими и биотическими факторами и процессами. Небиотическое разложение глины, окислы, гидроокислы и ионы металлов выполняют роль катализаторов в реакциях разложения пестицидов. При участии воды идет гидролиз пестицидов. Свободные радикалы гумусовых веществ изменяют устойчивость молекул гербицидов к разложению. Рэуце К. (1984) выделяет следующие пути небиотического разложения пестицидов: 1) Разложение при гидролизе, особенно хлорорганических инсектицидов, триазиновых гербицидов, на которое оказывает влияние температура, влажность, рН. Гидролиз сильнее протекает на почвах с сильно кислой реакцией среды и при большом содержании органического вещества. Влажность почв, состав обменных катионов и минералогический состав влияют на разложение пестицидов очень существенно, но для разных групп пестицидов установлены свои зависимости. 2. Реакции разложения окислительно-восстановительного типа, которым подвергаются серосодержащие пестициды. 3. Разложение, связанное с образованием нитрозосоединений. Реакции протекают при величине рН=3-4 и при избытке нитратов. 4. Реакции разложения, связанные с присутствием в почве свободных радикалов. 5. Фотохимическое разложение пестицидов под действием солнечной радиации.

Биологическое разложение пестицидов

Биологическое разложение пестицидов осуществляется бактериями, актиномицетами, грибами и высшими растениями. Способность к трансформации и детоксикации пестицидов в наибольшей степени выражена у бактерий, затем у актиномицетов и грибов. При этом продолжительность разложения пестицидов микроорганизмами может колебаться от нескольких дней до нескольких месяцев и иногда десятков лет, в зависимости от специфики пестицида, видов микроорганизмов, свойств почв. Отдельные пестициды разлагаются и определенными группами микроорганизмов.

Ниже приведено описание процессов взаимодействия микроорганизмов с пестицидами по Галиулину (1998). Сразу же после поступления ксенобиотика в среду отмечается лаг-фаза (фаза приспособления), в процессе которой клетки адаптируются к пестициду. К концу лаг-фазы начинается разложение клеток, причем удельная скорость роста культуры достигает максимальной величины в экспоненциальной фазе. По мере утилизации клетками ксенобиотика и накопления метаболитов скорость роста микроорганизмов тормозится; культура вступает в фазу замедления роста или отрицательного ускорения. Из этой фазы культура переходит в стационарную, в которой количество клеток остается постоянным. Наконец, в фазе отмирания культуры уменьшается количество живых клеток, их общая масса падает в результате процессов автолиза (Печуркин, Терсков, 1973; Карасевич, 1982).

В полевых условиях у смешанной почвенной популяции этот процесс усложняется различными биоценотическими отношениями (мутуализм, компенсализм, хищничество) и изменением экофакторов (Звягинцев, Голимбет, 1983). Для почвенных условий характерно одновременное воздействие на ксенобиотик сообщества микроорганизмов (явление компенсализма). Способность к биодеградации пестицидов у почвенных микробных сообществ чаще выше, чем у чистых культур. Одни микроорганизмы осуществляют первичную трансформацию ксенобиотика, другие ее продолжают, а третью завершают деструкцию. Почвенные микроорганизмы быстрее деструктируют единственный пестицид, по сравнению со смесью нескольких веществ, резко различающихся по структуре.

Считают, что микробная деградация пестицидов в почве осуществляется двумя путями. Первый путь характеризуется убылью субстрата под воздействием конститутивных ферментов микробной клетки без какой-либо лег-фазы. Подобным образом разлагаются в почве все природные соединения, а также такие пестициды, как ДНОК, линурон, симазин. Второй путь микробного разложения пестицида характеризуется или отсутствием деструкции или очень медленным его разложением на первом этапе (лаг-фаза), в процессе которого происходит индукция ферментов. Затем процесс разложения осуществляется довольно быстро. При этом синтез индуцибильных ферментов может быть детерминирован возникновением мутаций по генам, контролирующим отдельные этапы деградации пестицида, интенсивной перестройкой внехромосомного генетического материала (плазмид) или возникновением гибридных плазмид (Боронин, 1984).

В ответ на воздействие некоторых ксенобиотиков микроорганизмы, подобно другой биоте, реагируют усилением продуцирования гидролитических ферментов и повышением их специфической активности. Образовавшиеся при этом индуцибильные ферменты повышают способность организма детоксицировать пестицид, который может выступать в роли самоиндуктора биотрансформации и в качестве индуктора биоразложения сходных по структуре соединений. Индукция почвенными микроорганизмами ферментов, способствующих разложению пестицидов, с одной стороны, ведет к самоочищению почвы. С другой стороны, при ярком проявлении этого процесса приходится применять все большие дозы пестицидов.

Для прогноза поведения гербицидов в почвах необходимо учитывать протекающие почвенные и почвообразовательные процессы. Так, например, Сюняев Х.Х. (1984) показал, что при наличии испарения влаги с поверхности почвы происходит подтягивание к поверхности симазина при увеличении его концентрации в 5 раз. В то же время при поверхностном внесении симазина на черноземах даже на склоне 0,050 отмечалось его смывание до 25% от сохранившегося в почве вещества. Причиной фитотоксического последствия на растения симазина являлись его необратимо сорбированная форма, симазин в составе растительных остатков и гумусовых веществ. При этом устойчивость этом форм определялась протекающими почвообразовательными процессами.

*Предельно допустимые концентрации*

Оценка токсичности для человека и теплокровных животных

При оценке токсичности пестицидов обычно учитывают минимальные дозы, вызывающие смертность 50% подопытной группы организмов (ЛД50). По токсичности для человека и теплокровных животных выделяют: сильнодействующие пестициды ЛД50 до 50 мг/кг живой массы (бромистый метил и др.); высокотоксичные ЛД50 до 200 мг/кг (базудин и др.); среднетоксичные – ЛД50 до 1000 мг/кг (медный купорос и др.); малотоксичные ЛД50 более 1000 мг/кг (бордосская жидкость, сера, витавакс, диален, неорон и др.).

По степени комплексного действия на организм выделяют пестициды чрезвычайно опасные, высоко опасные, умеренно опасные, малоопасные. При комплексной экотоксикологической оценке пестицидов учитывают летучесть, разлагаемость, токсичность для теплокровных животных, миграционную способность, коэффициент биологического накопления и т.д. Среди почвенной биоты наиболее чувствительны к воздействию пестицидов микроводоросли, нитрификаторы, азотфиксаторы, деструкторы целлюлозы, симбионты.

Следует отметить, что, хотя токсиколого-гигиенические и другие требования к новым препаратам постоянно ужесточаются, тем не менее, ни об одном из них нельзя с уверенностью сказать, что его применение абсолютно безвредно для живой природы (Минеев В.Г., 1990). Именно поэтому по рекомендациям ВОЗ маленьким детям, больным и выздоравливающим следует употреблять пищу, абсолютно свободную от каких-либо остатков пестицидов.

В настоящее время в определенной степени изучены основные закономерности поведения пестицидов в почве и в растениях, но недостаточно выяснено их превращение в объектах окружающей среды при комплексном совместном или последовательном применении пестицидов с удобрениями, регуляторами роста и другими современными средствами химизации (Минеев В.Г., 1990). Пестициды и их остатки могут прочно связываться в почве, и обычными методами при контроле содержания их остатков не определяться. В то же время предельно допустимые концентрации разработаны с учетом обычной диеты человека, т.е. с учетом возможного количества потребляемого продукта. Однако, в разных странах и для отдельных групп населения диеты неодинаковы, они отличаются и по сезонам года. Поэтому предельно допустимые концентрации в разных странах значительно отличаются. Большая опасность заключается во взаимодействии остатков различных токсикантов.

**16. Загрязнение почв тяжелыми металлами, как фактор их деградации**

# Значимость проблемы

Загрязнение почв тяжелыми металлами представляет большую народнохозяйственную и экологическую проблему. Тяжелые металлы из почв мигрируют в грунтовые воды и водоемы, а затем потребляются человеком с питьевой водой. Они поступают в растения и, в дальнейшем. Попадают в продукты питания растительного и животного происхождения. Частично, тяжелые металлы попадают из почв с испарением и из растений с транспирацией в воздушную среду, а затем через органы дыхания в организм человека. Небезопасны для биоты и человека и физические поля, трансформированные и отраженные скоплениями тяжелых металлов. Под действием тяжелых металлов происходит угнетение практически всего растительного и почвенного мира суши и водоемов. При этом часть изменений накапливается и действует на биоту на генетическом уровне. Считается, что образ жизни определяет 49-53% здоровья и продолжительности жизни, генетические факторы – 18-22%; загрязнение – 17-20%; медицинские факторы – 17-20%.

При этом, к сожалению, уровень загрязнения почв тяжелыми металлами все время возрастает. Считается, что каждый житель Земли ежедневно производит в среднем 2-4 кг отходов и мусора. И эта антропогенная нагрузка будет возрастать, что видно на примере высокоразвитых стран. Для примера, в 1972 году только 6% населения земного шара в США производили 70% твердых отходов и остатков (Commoner, 1972). Большие уровни поступления в почву токсикантов отмечаются и для отдельных районов России. Так, например, в Тульской области ежегодный выброс вредных веществ в атмосферу составлял в 1991 г. 600 тысяч тонн, в реки – 419 млн. м2 (Дмитриев А.В., Сычев А.И., 1997).

Значительное количество тяжелых металлов поступает в почву и при их сельскохозяйственном использовании. По оценке ЦИНАО к 1990 году с фосфорными удобрениями, в целом, в СССР внесено в почву 16633 т свинца, 3200 т кадмия, 533 т ртути. Уровень воздействия тяжелых металлов на агроэкосистемы иллюстрируется следующими примерами. Учватовым В.П. (1994) отмечается, что в агроэкосистемах южного Подмосковья суммарная полиметаллическая нагрузка составляет - 441-1162 мг/м2 железа, 40-83 – марганца,44-95 – цинка, 4,1-9,6 – никеля, 4,9-1,3 – свинца, 0,15-1,2 мг/м2 – кадмия. В Тульской области ежегодно на 1 м2 поверхности с жидкими атмосферными осадками и пылью поступает: в заказнике «Тульские засеки» – 400-540 мг Fe; 36-137 – Mn; 56-69 – Zn; 4-7,5 – Ni; 1,7-3,5 – Pb; 0,12-0,15 мг Cd; в агроэкосистемах соответственно 185-620; 12-30; 21-47; 1,8-5; 4,3-11 и 0,1-1,0 мг. Вблизи источника загрязнения накопление свинца в почве достигает 545 мг/кг, цинка 158 мг/кг; меди –118; а на расстоянии 10 км соответственно 50, 3 и 9 мг/кг (Реуце К., 1986). ПО данным автора, вдоль дорог содержание свинца может достигать 300 мг/кг.

Загрязнение почв по своим последствиям существенно отличается от загрязнения вод и воздуха. 1. В почвах равновесие, нарушенное при загрязнении, восстанавливается значительно медленнее, чем в водной и воздушной среде. 2. При загрязнении почв (деградации почв), как правило, нарушаются их функции и чаще несколько функций. Опасность, вызываемая загрязнением почв тяжелыми металлами, усугубляется еще и слабым выведением их из почв. Так, период полуудаления в условиях почвенных лизиметров варьирует в зависимости от вида металла: для цинка – 70-510 лет, кадмия – 13-1100 лет, меди – 310-1500, свинца 740-5900 лет (Агроэкология, М., Колос, 2000).

В 1996 году в Российской Федерации более 1 млн. га почв сельскохозяйственных угодий было загрязнено особо токсичными (1 класс опасности) и около 2-3 млн. га токсичными (2 класс опасности) элементами. По данным ЦИНАО (Кузнецов А.В., 1998), интенсивность загрязнения пахотных почв России тяжелыми металлами и фтором можно расположить в следующий ряд: Cu > Ni > Co > Pb > Cd > F > Zn > As. В ниже следующей таблице приведены сведения о доле площадей пахотных почв России, загрязненных тяжелыми металлами.

Таблица 20

Площади пахотных почв РФ, загрязненных тяжелыми металлами и фтором

(Овчаренко М.М. и др., 1997)

В % от обследованной территории с содержанием выше ПДК

PB : Cd : Ni : Cr : Zn : Co : Cu : As : F

ПДК по валовому содержанию

1,6 0,1 0,1 0,5 0,15 1,0 0,1 1,2 -

по содержанию подвижных форм

0,1 0,1 0,6 - 0,05 - 1,9 - 0,5

сумма

1,7 0,2 0,7 0,5 0,20 1,0 2,0 1,2 0,5

Практически все выявленные Центральным институтом агрохимического обслуживания загрязненные почвы, за исключением загрязнения кадмием, представлены почвами неудовлетворительного экологического состояния. Площадь почв неудовлетворительного экологического состояния по кадмию составляет 37,5% от общей загрязненной. Отсутствуют почвы, относящиеся по уровню загрязнения у зонам чрезвычайной экологической ситуации (4-я группа по кобальту) и экологического бедствия (5-я группа по кобальту и никелю). Незначительные площади почв, относящиеся к зонам чрезвычайной экологической ситуации по никелю, меди, хрому и экологического бедствия – по свинцу, цинку, мышьяку, хрому и меди. Широко распространены почвы, относящиеся к зоне чрезвычайной ситуации по кадмию. Доля таких почв составляет 56,3% от общей площади загрязненных кадмием. Значительно распространены также почвы, относящиеся к зоне экологического бедствия по кадмию (6,2%). Доля загрязненных почв, относящихся к зоне чрезвычайной экологической ситуации по свинцу, цинку и мышьяку колеблется в пределах 9,0-22%.

Анализ содержания тяжелых металлов в растениеводческой продукции также свидетельствует о значительном варьировании показателей в зависимости от вида растений, почвенно-климатических условий и технологии выращивания. Так, содержание меди в клубнях картофеля колеблется в пределах 3-11 мг/кг, составляя среднем 5,6 мг/кг, что несколько выше ПДК. Содержание цинка в клубнях картофеля соответственно равно 5-22 мг/кг и 14 мг/кг; свинца – 0-1,5 и 0,73 мг/кг; кадмия – 0-0,21 и 0,11 мг/кг. На основании вышеприведенных данных можно сделать предварительный вывод о том, что тяжелые металлы, особенно, кадмий, свинец, цинк, а также мышьяк в настоящее время представляют серьезную опасность для растениеводства.

*Оценка уровня загрязнения почв*

Предельно допустимый уровень состояния почв – это тот уровень, при котором начинают изменяться количество и качество вновь создаваемого живого вещества, т.е. биологической продукции. Для обоснования предельно допустимого уровня состояния почв предложены показатели, которые определяются экспериментально. Для минимально низкой концентрации тяжелого металла определяется критический (самый чувствительный) показатель, характеризующий ущерб или экономические последствия, и по этому показателю устанавливается критический уровень концентрации элемента (Орлов Д.С., Безуглова О.С., 2000).

При оценке степени загрязнения почв учитывают превышение содержания элемента в почве, по сравнению с фоном (кларком) и средним содержанием в земной коре. Однако, природное пространственное варьирование содержания химических элементов очень велико и зависит от конкретной почвенно-экологической ситуации (Прохоров А.Н., Чернова О.В., 1997). Нередко фоновое содержание отдельных элементов в почвах выше принятого уровня ПДК. По ряду элементов существует несогласованность между фоновым содержанием в почвах и уровнем ПДК. Так, для хрома среднее фоновое содержание в почве установлено 100 мг/кг, ПДК – 50 мг/кг. При колебании фонового содержания свинца от 2 до 200 мг/кг ПДК составляет 30 мг/кг.

Для почв с многообразием физико-химических свойств установить единое значение ПДК невозможно (Орлов Д.С., Безуглова О.С., 2000). В связи с этим, по данным Мотузовой Г.В. (1992), при выработке экологических нормативов микроэлементного состава почв следует опираться на природные инварианты содержания микроэлементов в почвах. За уровень предельно допустимой концентрации микроэлементов в почвах следует принять превышение среднего регионального фонового содержания на три средних квадратичных отклонения, при уровне вероятности Р=0,99.

Аналогичной точки зрения придерживаются в последнее время и другие авторы. Как указывают Прохоров А.П. и Черникова О.В. (1997), унифицированные средние и допустимые значения концентраций (содержания) загрязняющих веществ в почвах даже одной классификационной принадлежности не могут быть установлены. Это определяется тем, что природное пространственное и временное варьирование содержания химических элементов очень важно и зависит от конкретной почвенно-экологической ситуации (погодно-климатических условий, положения в ландшафте, вида растительности, состава почвообразующих пород, на пахотных землях от вида и сорта культур, системы агротехники и удобрений). Авторы предлагают создание системы региональных и почвенных эталонов. Эталоны должны выбираться из целинных или минимально антропогенно преобразованных почв типичных ландшафтов; с нашей точки зрения, для всех почв и ландшафтов, резко различающихся по своей экологической функции.

Как отмечают Матвеев Ю.М. и Прохоров А.Н. (1997), экологическое нормирование более правильно проводить на основе природно-географического критерия «фоновое содержание». При этом под фоновым содержанием химических соединений и элементов понимается их содержание в почвах, соответствующее сочетанию естественных факторов почвообразования на территориях, не испытывающих заметного антропогенного воздействия. Фоновое содержание будет отличаться как для отдельных почв и элементов рельефа, так и для определенных регионов с характеристическими параметрами гидротермического режима. Под фоновым содержанием химических элементов в методических рекомендациях 1994 и 1996 г.г. понимается содержание, соответствующее их естественным концентрациям в почвах различных климатических зон. Более правильно оно определяется дополнительно для конкретных типов почв, элементов рельефа, гранулометрического состава, минералогического состава.

Оценка предельно допустимых концентраций по содержанию валовых и

подвижных форм соединений элементов

Предельно допустимый уровень или предельно допустимая концентрация – это максимальное значение фактора, которое воздействуя на человека (изолированно или в сочетании с другими факторами), не вызывает у него и его потомства биологических изменений, даже скрытых и временно компенсируемых, в том числе заболеваний, изменений реактивности, адаптационно-компенсаторных возможностей, иммунологических реакций, нарушений физиологических циклов, а также психологических нарушений. Уровень загрязнения определяется, в основном. По валовому содержанию элементов. В то же время одно и то же валовое содержание элемента в одних случаях будет токсичным, а в других нетоксичным. Это зависит от подвижности токсиканта в конкретных условиях среды.

Степень превышения валового содержания элемента в почве, по сравнению с фоновой почвой, не всегда коррелирует со степенью его токсичности. В том случае, когда элемент прочно связан с твердой фазой почвы (в кристаллической решетке минералов или в виде трудно растворимых осадков), степень его токсичности значительно ниже, чем у подвижных форм. На необходимость разработки ПДК для подвижных форм указывается и в сборнике «Охрана почв» (1996). На растения также действуют не валовые, а подвижные формы токсикантов. Например, даже при значительном содержании свинца и кадмия в почве, но при щелочной реакции среды они находятся в виде трудно растворимых осадков и очень незначительно поглощаются растениями. Очевидно. необходимо составление ПДК по подвижным формам тяжелых металлов (их активности). Такие попытки сделаны Обуховым А.И. (1988) и рядом других авторов.

При более детальной оценке уровень токсичности тяжелого металла в почве определяется не только содержанием его подвижных форм, а активностью, константами устойчивости и размерами образующихся комплексных соединений, реакциями конкурирующего комплексообразования в системе почва-растение и т.д. В частности, уровень токсичности зависит от прочности связи элемента с твердой фазой (гранулометрического и минералогического состава, емкости поглощения, степени гумусированности), от скорости перехода токсиканта из твердой фазы в раствор и т.д. В то же время концентрация токсиканта в любой вытяжке определяется эффективными произведениями растворимости его осадков, эффективными константами ионного обмена в системе твердая фаза почвы – почвенный раствор, эффективными константами нестойкости образующихся комплексов. Эта величина далеко не полностью зависит от содержания токсиканта в почве (валовых или обменных форм). Очевидно, необходимо знать активность токсиканта в почве, количество его подвижных форм и скорость их перехода из твердой фазы в раствор. Важным параметром является миграционная способность токсиканта.

Различают четыре разновидности ПДКп, в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ – транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы через корневую систему растений в зеленую массу и плоды; МА – миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ – миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водные источники; ОС – общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробиоценоз.

В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствует ПДКп, рассчитывают временные допустимые концентрации: ВДКп = 1,23 – 0,48 ПДКпр, где ПДКпр – предельно допустимые концентрации для продуктов питания (овощных и плодовых культур), в мг/кг.

Использование для оценки загрязнения почв тяжелыми металлами суммарного

показателя загрязнения

Оценку экологической опасности, возникающей вследствие устойчивых техногенных нагрузок, проводят двумя способами.

1. С помощью педогеохимической индикации степени загрязнения почв тяжелыми металлами (Глазовская М.А., 1981). При этом, рассчитывают коэффициенты концентрации К(к) загрязнителей по формуле: К(к) = Сi/Cф, где Сi – концентрация химического элемента в загрязненной пробе, мг/кг; а Сф – фоновое содержание этого элемента, мг/кг. Чаще Сi и Сф берут для валового содержания элементов. Для загрязняющих веществ неприродного происхождения коэффициент концентрации определяют, как частное от деления массовой доли загрязняющего вещества и его предельно допустимой концентрации. Коэффициент К(к) отражает интенсивность загрязнения. При К(к) > 1 < 2 уровень загрязнения минимальный, при К(к) – 2-4 – слабый, 4-8 – средний, 8-16 – сильный, 16-32 – очень сильный, > 32 – максимальный.

2. Для оценки полиэлементных аномалий в ландшафтах используют суммарный показатель загрязнения (Z): = ∑ K(k) – (n – 1), где К(к) – коэффициенты концентрации ТМ > 1; n – число химических элементов с К(к) > 1. Параметр суммарной концентрации Zc отражает совокупную техногенную нагрузку на конкретный ландшафт, обусловленную влиянием всех элементов с аномально высокими концентрациями. Для них Zc > 100-120. Уровни загрязнений почв по величинам суммарного показателя концентраций соответствует таким градациям: Zc < 8 – уровень минимальный, 8-16 – слабый, 16-32 – средний, 32-64 – сильный, 64-128 – очень сильный, больше 128 – максимальный. Ниже приведена шкала опасности загрязнения почв по показателю Zc.

Таблица 21

Ориентировочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному

показателю загрязнения (Zc)

Категория загрязнения: Величина : Изменение показателей здоровья населения

почв : Zc :

допустимая менее 16 наиболее низкий уровень заболеваемости детей и ми-

нимальная частота встречаемости функциональных

отклонений

умеренно опасная 16-32 увеличение общей заболеваемости

опасная 32-128 увеличение общей заболеваемости, числа часто бо-

леющих детей хроническими заболеваниями, нару-

шениями функционального состояния сердечно-со-

судистой системы

чрезвычайно опасная более 128 увеличение заболеваемости детского населения,

нарушение репродуктивной функции жизни

При одновременном присутствии нескольких вредных веществ однонаправленного действия их совместная допустимая концентрация определяется следующим выражением:  / ПДКi < 1, где Сi – концентрация i-го вещества в жизненном пространстве, ПДКi – предельно допустимая концентрация вещества в жизненном пространстве, n – число веществ.

С1 / ПДК1 + С2 / ПДК2 + … Сп /ПДКп < 1. Предельно допустимый выброс (ПДВ) в атмосферу – С ≤ ПДК – Сф. Уровень воздействия токсикантов на систему определяет риск их воздействия. Риск – R = (NЧС / NO) ≤ RДОП, где R – риск, NЧС – число чрезвычайных событий в году; NO – общее число событий в году, RДОП – допустимый риск. Неприемлемый риск – вероятность негативного воздействия > 10-3; приемлемый - < 10-6 («Безопасность жизнедеятельности», 1999).

Для растений и почв допустимые уровни Zc отличаются. Касатиковым В.А. (1989) выявлены следующие градации степени загрязнения растений: слабое – Zc < 3 ед.; среднее – 3-10; сильное – Zc > 10 ед. Суммарный показатель загрязнения рассчитывается для элементов с повышенным уровнем транслокации в растения – Cd, Zn, Ni, Cr, Pb, Mo, Ag.

Очевидно, что отдельные токсиканты могут как увеличивать, так и ослаблять действие друг друга на изучаемый объект. В большинстве случаев, в реальных условиях эффективность действия смеси веществ несколько меньше. Чем сумма эффектов всех веществ и несколько больше, чем эффект каждого вещества. Однако, для почв и биологических объектов достаточно часто проявляется не только аддитивные эффекты взаимодействия токсикантов, но также эффекты синергизма, антагонизма, эффект сенсибилизации, независимого действия.

Аддитивное действие – это суммарный эффект смеси, равный сумме эффектов действующих компонентов. При потенцированном действии (синергизме) компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает действие другого. Антагонистическое действие – эффект комбинированного действия меньше ожидаемого. Одно вещество ослабляет действие другого. При независимом действии комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого яда в отдельности. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Сенсибилизация – это состояние организма, при котором повторное воздействие вызывает больший эффект, чем предыдущее. К веществам, вызывающим сенсибилизацию относятся бериллий и его соединения, карбонилы никеля, железа. Кобальта, соединения ванадия и т.д.

Отдельные токсичные вещества модифицируют мутагенный и канцерогенный эффекты основных загрязнителей окружающей среды посредством влияния на их метаболизм. Проницаемость для них мембран и т.д. К числу таких антропогенных факторов следует отнести насыщенность почв агрохимикатами, радиационный фон, атмосферную и магнитную загрязненность, шум, наличие тяжелых металлов, излучения промышленного происхождения. Их сочетание и в пределах допустимых уровней может привести к негативному эффекту в результате совместного воздействия. Отсюда очевидна необходимость дифференциального подхода при определении ПДК в регионах, существенно отличающихся антропогенной нагрузкой.

*Буферность почв по отношению к тяжелым металлам*

Буферность почв по отношению к тяжелым металлам может быть оценена по увеличению их содержания и подвижности в наиболее корнеобитаемом слое на единицу поступающего извне токсиканта. В данном случае учитываются реально протекающие процессы элюирования, миграции и аккумуляции токсикантов растительностью. С физико-химической точки зрения, буферность зависит от сорбционной емкости почв по отношению к определенным видам и формам соединений тяжелых металлов. Указанные параметры, в значительной степени, зависят от гранулометрического и минералогического состава почв, их рН и Eh, комплексообразующей способности органического вещества. При этом, рН, Eh, константы ионного обмена при поглощении тяжелых металлов почвой, константы нестойкости образующихся комплексов, произведения растворимости образующихся осадков определяют возможность закрепления тяжелых металлов в почвах и трансформацию их соединений. Количество в почве функциональных групп, ответственных за отдельные типы сорбции, определяет количество закрепляемых в почве тяжелых металлов.

В основном, устойчивость почв к загрязнению их тяжелыми металлами увеличивается при наличии в почве карбонатов, сульфатов, образующих с тяжелыми металлами осадки; при утяжелении гранулометрического состава почв, увеличении степени гумусированности, емкости поглощения, при увеличении прочности связи тяжелых металлов в образующихся комплексах, осадках, при поглощении в ППК, при промывном типе водного режима. Устойчивость почв к загрязнению тяжелыми металлами уменьшается при развитии анаэробиозиса, при деградации растительного покрова, в депрессиях, на вогнутых склонах, при развитии эрозии, при подкислении среды.

*Предельно допустимые концентрации и уровни воздействия*

Нормирование химического загрязнения почв осуществляется по предельно допустимым концентрациям (ПДКп). Это концентрация химического вещества в мг в пахотном слое почвы (кг), которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. Проблеме нормирования посвящены многочисленные работы Глазовской М.А., Важенина И.Г., Зырина Н.Г., Обухова А.И., Пинского Д.Л., Большакова В.А. и др.

Предельно допустимые концентрации токсикантов разработаны для почв, растений, вод (различного характера использования), воздушной среды. Как правило, выделяются ПДК для валовых форм элементов в почве, для подвижных соединений некоторых элементов, для содержания токсикантов в водах. В то же время ПДК, очевидно, будут отличаться для отдельных почв, свойств почв, видов и сортов растений, отдельных процессов метаболизма. Различаются четыре разновидности ПДК в зависимости от пути миграции химических веществ в сопредельные среды: ТВ – транслокационный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в корневую систему, зеленую массу и плоды растений; МА – миграционный воздушный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в атмосферу; МВ – миграционный водный показатель, характеризующий переход химического вещества из почвы в подземные грунтовые воды и водные источники; ОС – общесанитарный показатель, характеризующий влияние химического вещества на самоочищающую способность почвы и микробоценоза. Величины предельно допустимых концентраций токсикантов для почв приведены в следующей таблице.

Таблица 22

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве и

допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Вещество :ПДК, мг/кг : Показатели вредности

:с учетом :-------------------------------------------------------------------------

:фона :транслокаци-: миграционный :общесани-

: :онный :----------------------------------------:тарный

: : : водный : воздушный :

подвижная форма

медь 3 3,5 72 - 3

никель 4 6,7 14 - 4

цинк 23 23 200 - 37

кобальт 5 25 > 1000 - 5

водорастворимая форма

фтор 10 10 10 - 25

валовое содержание

сурьма 4,5 4,5 4,5 - 50

марганец 1500 3000 1500 - 1500

ванадий 150 170 350 - 150

марганец+ванадий 1000+100 1500+150 2000+200 1000+100

свинец 30 35 200 - 50

мышьяк 2 2 15 - 10

ртуть 2,1 2,1 33,3 2,5 5

свинец + ртуть 20,0+1,0 20,0+1,0 30,0+2,0 - 30,0+2,0

хлористый калий

(К2О) 560 1000 560 1000 5000

нитраты 130 180 130 225

бенз(а)пирен > 0,02 0,2 0,5 - 0,02

бензол 0,3 3,0 10,0 0,3 50

толуол 0,3 0,3 100 0,3 50

изопропил бензол 0,5 3,0 100 0,5 50

альфа-метил стирол 0,5 3,0 100 0,5 50

стирол 0,1 0,3 100 0,1 1,0

ксилол 0,3 0,3 100 0,4 1,0

сероводород 0,4 160 140 0,4 160

элементарная сера 160 180 380 - 160

серная кислота 160 180 380 - 160

В то же время, по данным разных организаций и стран, предельно допустимые концентрации токсикантов для почв несколько отличаются. Ниже приведены величины ПДК по ТМ для почв из ГОСТов (№ 443387, №3210-85, №2546-82, №1968-79): по Pb – 3,2; Hg – 2,1; As – 2,0; Sb – 4,5; Mn – 1500; V – 160 мг/кг. По данным Важенина И.Г. (1985), 1 уровень загрязнения по марганцу соответствует 1600 мг/кг; по хрому – 400; по цинку – 100; по никелю – 80; по меди – 40; по свинцу – 20; по кобальту – 16. По данным Аммосовой Я.М. (1999), для хрома – 0,05; для кадмия, никеля – 5,0; для мышьяка – 20.

Влияние ТМ на почву определяется не только их валовым содержанием, но, в первую очередь, содержанием водорастворимых и подвижных форм, их активностью в почвенном растворе. В связи с этим, показатели загрязнения должны различаться в зависимости от рН и Eh среды, других свойств почв. Пример такой группировки приведен в следующей таблице.

Таблица 23

Шкала экологического нормирования ТМ для геохимической ассоциации почв

со слабокислой и щелочной реакцией, мг/кг (Обухов А.И., 1988)

Градации : Содержание, мг/кг

:------------------------------------------------------------------------------------

: Pb : Cd : Zn : Cu : Ni : Hg

уровень содержания

очень низкий < 5 < 0,05 < 15 < 5 < 10 < 0,05

низкий 5-10 0,05-0,10 15-30 5-15 10-20 0,05-0,1

средний 10-35 0,10-0,25 30-70 15-50 20-50 0,10-0,25

повышенный 35-70 0,25-0,50 70-100 50-80 50-70 0,25-0,50

высокий 70-100 0,50-1,00 100-150 80-100 70-100 0,50-1,00

очень высокий 100-150 1-2 150-200 100-150 100-150 1-2

уровень загрязнения

низкий (ПДК) 100-150 1-2 150-200 100-150 100-150 1-2

средний 150-500 2-5 200-500 150-250 150-300 2-5

высокий 500-1000 5-10 500-1000 250-500 300-600 5-10

очень высокий > 1000 > 10 > 1000 > 500 > 600 > 10

При концентрациях тяжелых металлов в почвах выше ПДК выделяются различные степени загрязнения почв и экологические показатели загрязнения почв, что представлено в следующих таблицах.

Таблица 24

Экологические показатели уровня загрязнения почв, мг/кг

(по Матвееву Ю.М. и Прохорову А.Н., 1997)

Элемент: Песчаные и супесчаные :Суглинистые и глинистые :Суглинистые и глинистые

: :при рН меньше 5,5 :при рН больше 5,5

:---------------------------------:----------------------------------:-----------------------------------

: ЭНС : ПДС : ЭКС : ЭНС : ПДС : ЭКС : ЭНС : ПДС : ЭКС

цинк 8,0 55 510 32 110 2040 40 220 2550

кадмий 0,04 0,5 3 0,06 1 4 0,07 2 5

свинец 5,0 3,2 320 13 65 830 13 130 830

медь 1,5 3,3 95 13 66 830 18 132 1150

кобальт 1,0 4,0 65 10 40 640 13 72 830

никель 1,5 20 95 20 40 1280 25 80 1600

мышьяк 0,5 2,0 30 1,5 6 95 1,7 10 110

хром 1,5 6,0 95 18 72 1150 25 100 1600

молибден 2,5 10 160 3,8 16 240 4 16 260

ванадий 10,0 40 640 45 160 2880 45 180 2900

ртуть 0,05 0,2 3,2 0,1 0,4 6,5 0,7 0,8 13

\*) ЭНС – экологическая норма содержания; ПДС – предельно допустимое содержание, равное 4-кратному значению ЭНС; ЭКС – экологически критическое содержание, равное 64-кратному значению ЭНС.

**17. Использование почв, развитие болезней и вредителей, качество**

**сельскохозяйственной продукции**

# Значимость проблемы

Загрязнение окружающей среды, а следовательно, и растительной продукции, падение плодородия и деградация почв, приводящие к угнетению растений, развитию болезней, сорняков и вредителей, неизбежно сказываются на химическом и биохимическом составе растений, на их качестве при использовании животными и человеком. Целесообразно выделить следующие основные причины ухудшения качества с/х продукции: 1) загрязнение воздушной и водной среды, почв; 2) поступление в растения органических и неорганических токсикантов в связи с применением удобрений, мелиорантов, средств защиты растений; 3) ухудшение химического и биохимического состава растений, появление в них токсикантов, в связи с развитием болезней, вредителей, сорняков; 4) ухудшение качества продукции, в связи с абсолютным или относительным избытком или недостатком отдельных элементов питания; 5) ухудшение качества с/х продукции, в связи с появившимися в растениях генетическими нарушениями; 6) ухудшение качества с/х продукции, как следствие влияния на растения стрессовых ситуаций: засухи, заморозков, высоких и низких температур, подтопления и т.д.; 7) плохое качество с/х продукции, в связи с выращиванием растений на участках земель, аккумулирующих токсиканты, в связи с силовыми линиями геофизических полей Земли, в геохимических провинциях, содержащих в почвах и породах токсиканты, в неприемлемом для с/х растений количестве.

Агентом загрязнения сейчас признается любое вещество, которое при определенных концентрациях становится причиной экологических нарушений. Такой эффект вызывает внесение высоких доз навоза; избыточное внесение азота и фосфора под пропашные культуры. В числе органических загрязнителей, которые подвергаются мониторингу земель с/х использования, выделяются нефтяные углеводороды, поверхностно-активные вещества, пестициды, полихлорированные бифенилы, бензапирен, нитрозосоединения, бактериальные токсины, митотоксины, хлорированные диоксины. В числе загрязнителей чаще встречаются тяжелые металлы, фтор, содержащиеся в воздухе окислы серы, азота, HF и т.д.

В сельскохозяйственном производстве основное и более опасное загрязнение возникает в связи с применением пестицидов. Эйхлер В. (1993) указывает, что если применение химических средств на полях и лугах будет и дальше возрастать прежними темпами, то это приведет к развитию резистентности у сотен видов вредителей, и тогда борьба с ними станет невозможной или потребует несоразмерно высоких или токсичных доз ядохимикатов. Часто загрязнение почв и с/х продукции является следствием грубого нарушения технологии выращивания с/х культур, утилизации отходов животноводства, неправильного хранения навоза и пестицидов.

Сложной задачей является инактивация в почве микотоксинов. Известно более 240 видов плесневых грибов, которые продуцирую около 100 токсичных соединений. Наиболее частые случаи загрязнения с/х продукции связаны с деятельностью грибов вида Aspergillus, продуцирующих афлатоксины, рода Penicillium, производящих патулин. Грибы рода Fusurium продуцируют трихотеценовые микотоксины. Эрготоксины содержатся в рожках гриба спорыньи. В условиях снизившегося применения средств защиты растений следует ожидать повышения риска появления микотоксинов в с/х продукции. Ежегодные потери продукции в России от корневых гнилей и других почвенных инфекций составляет 10-15% и более (Минеев В.Г., 1990). Ряд токсичных продуктов органического происхождения попадает в почву при выращивании растений, за счет выделения ими экзаметаболитов, трансформации в почве продуктов растительного опада.

Значительные изменения химического и биохимического состава растений обусловлены недостатком или избытком в почве отдельных элементов. В настоящее время четвертая часть всех сельскохозяйственных площадей в мире характеризуется недостатком или избытком элементов питания (Busser, 1981). В целом по регионам бывшего СССР почвы пахотных земель с недостаточным содержанием микроэлементов, по данным Центрального института агрохимического обслуживания, составляет в % от обследованной площади: молибдена – 53; цинка – 64,5; кобальта – 58,1; меди – 33,3; бора – 30,1; марганца – 16,4. Особенно много почв с недостаточным содержанием молибдена в Белоруссии – 81,3%, в Литве – 88,8%; цинка – в Казахстане – 86%, РСФСР – 71,5%, Киргизии – 84,3%; кобальта – в Эстонии – 82,4%, Киргизии – 74,4%, Казахстане – 63,4%; меди – в Киргизии – 64,3%, Казахстане – 48%, Белоруссии – 55,3%; бора – в Белоруссии – 70,9%, Киргизии – 46%; марганца – в Молдове – 39,2%, Казахстане – 24,5% (Державин Л.М., 1981).

В то же время ухудшение качества растениеводческой продукции отмечается и при избытке в почве отдельных элементов. Наиболее часто обращается внимание на повышенное содержание в растениях нитратов и нитритов. Известно, что повышенное содержание нитратов в суточном рационе животных и человека вызывает тяжелейшие функциональные расстройства нервной системы, пищеварения, дыхания, способствует образованию канцерогенных и эмбриотоксических соединений. В то же время, уже начиная с 1960 года, в некоторых европейских реках нитратов превышает допустимый уровень 22,6 мг/л. К 1985 году на овощные поля пойм Подмосковья вносилось по 200-300 кг действующего вещества азотных удобрений, которые, в значительной степени, мигрировали в грунтовые воды и реки, использовались с питьевой водой; вызывали загрязнение с/х продукции, потребляемой животными и населением.

Следует отметить, что, в связи с увеличением населения, техногенная нагрузка на экосистемы будет все время возрастать. При этом техническое развитие стран будет сопровождаться и увеличением техногенной нагрузки на биогеоценозы от каждого носителя. Так, например, американцы, которые составляют 6% всего населения Земли, потребляют больше энергии, чем две трети человечества – жители развивающихся стран. Каждый новорожденный североамериканец создает такую же нагрузку на окружающую среду, как 60 новорожденных в Индии. На пищевые средства, которые используются для удовлетворения в мясе одного европейца, в развивающихся странах могло бы прожить 70 человек (Эйхлер В., 1993).

Приведенные примеры подтверждают неизбежность в будущем увеличения антропогенной нагрузки на экосистемы и, к сожалению, большую вероятность ухудшения качества растениеводческой продукции.

*Теоретические закономерности изменения качества с/х продукции под влиянием*

*внешних факторов*

Ухудшение качества с/х продукции проявляется в следующем: ухудшение внешнего вида, уменьшение периода хранения, ухудшение вкуса, ухудшение технологических качеств (возможности консервирования, длина волокна льна и хлопчатника и т.д.), изменение в неблагоприятную для потребителя сторону химического состава, биохимических свойств; появление в продукции неорганических токсикантов, токсикантов органического происхождения, уменьшение в продукции незаменимых аминокислот, витаминов, полезных для человека и животных биологически активных веществ, появление в продукции патогенов, вирусов; ухудшение функциональных свойств, требуемых от определенного вида с/х продукции.

Содержание токсикантов в растениеводческой продукции зависит: 1) от их содержания в породах; 2) от их содержания в отдельных типах почв, т.к. почвообразовательные процессы приводят к перераспределению элементов по профилю почв и по рельефу; 3) от содержания токсикантов в почвах в подвижных усвояемых растениями формах, что определяется рН и Eh среды, влажностью, температурой и другими параметрами почв; 4) от привноса токсикантов в систему в виде водных и воздушных мигрантов, в связи с техногенным воздействием на агрофито- и биогеоценозы; 5) от поступления токсикантов в агрофитоценозы с удобрениями, мелиорантами, средствами защиты растений, биологически активными веществами; 6) от появления токсикантов при развитии болезней, вредителей, отдельных представителей сорной растительности; 7) от появления токсикантов в почвах, в связи с их выделением отдельными культурными растениями и при образовании в процессе трансформации растительных остатков определенных растений; 8) от усвоения токсикантов растениями, что обусловлено влажностью, температурой, освещенностью (длиной волны и интенсивностью), селективностью корневых систем выращиваемых культур к определенным ионам.

А. Геологические факторы имеют решающее значение в распределении поступающих в окружающую среду жизненно-важных и токсических элементов. Оно проявляется через тектонические, гидродинамические, эрозионные и другие процессы, приводящие к формированию зон поступления, транзита, накопления и трансформации химических веществ на дневной поверхности, в зонах аэрации и активного водо-газообмена (Пронин А.П., 1997).

Биогеохимические пояса являются наиболее крупными единицами ландшафтно-геохимического, почвенного и климатического районирования. На территории России они следующие: 1) таежно-лесной нечерноземный пояс (недостаток Ca, P, Co, Cu, I, Mo, B, избыток стронция); 2) лесостепной и степной черноземный пояс (частый недостаток Р); 3) сухостепной и полупустынный почв (избыток SO4, Cl, B, Sr, Mo, иногда, Со). Области, отличающиеся более или менее одинаковой концентрацией в среде (почвах, водах, воздухе) от соседних областей уровнем одного или нескольких химических элементов (нормальным, избыточным или недостаточным), называются геохимическими провинциями (Виноградов А.П., 1950). С ними связана характерная биологическая реакция флоры и фауны данной области. Нередко с ними связаны специфические заболевания растений и животных – биогеохимические анемии. Они известны, по крайней мере, к 20-30 химическим элементам и, в частности, Li, Be, B, F, Mn, Co, Cu, Zn, Se, Sr, Mo, I, Pb, Hg и т.д. В Тагило-Магнитогорском прогибе Уральского пояса сосредоточены крупные месторождения полиметаллических сульфидных руд с мощными ореолами сульфидизации вмещающих пород. Почвенно-растительный покров отличается повышенным содержанием меди, цинка, свинца, ртути, селена, мышьяка, сурьмы и др. Районы между Черным и Каспийским морями богаты свинцом и марганцем; район северной части Каспийского моря обогащен стронцием и обеднен кальцием.

Б. Значительное влияние на качество с/х продукции имеют геопатогенные зоны. Это локальные, аномальные участки на поверхности Земли, оказывающие негативное воздействие на человека и живые организмы. Это воздействие обусловлено не только присутствием токсичных химических элементов и соединений, патогенных микроорганизмов, но и сочетанием разнообразных физических полей Земли и космического происхождения. С практической точки зрения, также важно, что в этих районах происходит аккумуляция ряда токсических элементов, изменение химического и биохимического состава растений, а для человека и животных необходимы специфические условия питания.

На участках длительной разгрузки металлсодержащих, глубинных флюидов в артезианских бассейнах, бессточных водоемах, шельфах и акваториях накопились огромные массы различных химических элементов. Во многих случаях накопление тяжелых металлов в горных породах, донных осадках, водной среде на 3-4 порядка выше фоновых уровней (Пронин А.П., 1997).

Наличие зон устойчивого глубинного поступления химических веществ в жизнеобеспечивающие природные среды играет первостепенную роль в формировании биогеохимических провинций. В районах Прикаспийской впадины современная флюидная активность проявляется в виде потока углеводородов, азота, углекислого газа, сероводорода, гелия, приуроченных к узлам сочленения прибортовых кольцевых и линейных глубинных разломов. Это вызывает современное огипсовывание и засоление зоны аэрации. В узлах сочленения активных глубинных разломов отмечается интенсивный, вертикальный водо-газообмен и увеличение концентрации соединений серы, азота, метана, радона, аргона, газофильных тяжелых металлов, ртути, кадмия, лития, мышьяка, селена, таллия и т.д. Это отмечается в Московском артезианском бассейне, в котором на границе с кристаллическим фундаментом залегают нагретые (до 50-600) хлоридно-натриевые сильно минерализованные воды.

В. Кроме естественных биогеохимических провинций, за счет антропогенного воздействия, создаются искусственные, с избыточным содержанием ряда элементов. Так, например, западнее и южнее расположены районы с избытком фтора, а севернее и западнее - с недостатком селена.

Г. Качество продукции, в значительной степени, определяется свойствами почв, протекающими в них процессами и режимами. Они определяют содержание подвижных форм элементов, которые и усваиваются растениями (в отличие от валового содержания элементов, недоступного растениям), определяют процессы миграции и накопления токсикантов и элементов питания, развитие болезней и вредителей.

Д. Качество растениеводческой продукции во многом зависит от развивающихся болезней, вредителей и наличия сорняков. По определению Страхова Т.Д., болезнь – это состояние организма, возникающее и изменчиво развивающееся под влиянием неблагоприятно складывающихся для растений взаимосвязей с патогенными факторами и окружающей средой и обычно характеризующееся расстройством физиологии, структуры и продуктивности растений. Нарушение физиологических процессов при заболевании растительных организмов чаще проявляется в следующем: в ослаблении фотосинтеза, в нарушении интенсивности дыхательных процессов, в нарушении транспортировки в растения воды и питательных веществ, а также продуктов фотосинтеза; в нарушении синтеза ростовых и запасных веществ. Все это сказывается на урожайности и качестве с/х продукции.

Болезни растений делятся на инфекционные и неинфекционные. Причинами неинфекционных заболеваний являются, главным образом, неблагоприятные для произрастания растений условия температуры, питания, влажности воздуха или почвы и т.д. Таким образом, свойства почв и технологии выращивания культур оказывают на развитие неинфекционных заболеваний самое непосредственное влияние. В то же время почвенные условия и применение удобрений, в значительной степени, влияют и на развитие инфекционных заболеваний. Возбудителями инфекционных заболеваний могут быть грибы, бактерии, вирусы, цветковые растения-паразиты.

Е. Качество растениеводческой продукции зависит от генетических особенностей выращиваемых растений, связанных с их предыдущим местообитанием. Сорта с/х культур, привезенные из областей с другими климатическими условиями, с другими параметрами геофизических и космических полей, будут давать продукцию, отличающуюся по качеству от продукции сортов, уже давно районированных на исследуемой территории. Вернадский В.И. и Виноградов А.П. выявили тесную зависимость особенностей эволюции живых организмов и растений от их длительного существования в определенной геохимической обстановке. Согласно Виноградову А.П., химический состав организма хранит признаки своего происхождения. При этом способность извлекать из почвы, воды повышенные количества химических элементов передается по наследству.

Ж. Качество растениеводческой продукции зависит и от сортовых особенностей культур. Размер накопления элементов в продукции определяется действием многих факторов, среди которых сорт, возраст растений, световой, тепловой и водный режимы, обеспеченность растений макро- и микроэлементами. Например, сортовые различия в отношении накопления нитратов у редиса достигают 550%, у томата – 200-300, у свеклы – 200%. При снижении освещенности количество нитратов в различных культурах может возрастать в 2-10 раз (Артюшин А.М., 1991).

З. Распределение металлов в органах растений носит отчетливо выраженный акропетальный характер: корни > стебли > листья > плоды. У растений имеется защитный организм, который препятствует поступлению тяжелых металлов из корней в надземные органы. Эта тенденция слабее проявляется на почвах с нормальным содержанием металлов и сильнее – с избыточным.

# Влияние удобрений на развитие болезней и вредителей

Применением удобрений можно регулировать рост и развитие растений на различных этапах органогенеза, ускорять или замедлять созревание. Применение удобрений позволяет предотвратить или смягчить воздействие различных стрессов, повышая приспособляемость растений к неблагоприятным условиям. При этом следует различать влияние содержания элементов питания на химический и биохимический состав растений, на их устойчивость к болезням и вредителям, на развитие сорняков. На указанные факторы влияет как избыточное, так и недостаточное содержание элементов.

Калийные удобрения чаще существенно сдерживают развитие грибных болезней на растениях, так как калий утолщает клеточные стенки, повышает прочность механических тканей, увеличивает рост и дифференциацию клеток камбия у высших растений. Это повышает устойчивость растений против инфекционного поражения. Недостаток калия в почве резко снижает устойчивость картофеля к фитофторе, крыжовника - к мучнистой росе, зерновых культур – к ржавчине.

Фосфор способствует усиленному развитию корневой системы, что повышает устойчивость растений к неблагоприятным факторам роста. Оптимальное фосфорное питание усиливает образование склеренхимных тканей, что повышает сопротивляемость растений внедрению паразита. Под влиянием фосфорных удобрений отмечается снижение жизнеспособности возбудителей болезней в почве (Чулкина В.А.).Кук Д. связывает эффект фосфатов с биохимией инфекционного процесса в клетках растения-хозяина, особенно, с изменением катионно-анионного равновесия. Так, например, внесение на Ротамстедской станции 64 кг/га Р2О5 снижало поражение ячменя Ophiobolus graminis в 3 раза (Минеев В.Г., 1990). Фосфорные удобрения одни или в сочетании с калием или азотом, в большинстве случаев, снижают вредоносность заболевания.

Довольно часто недостаток того или иного элемента усиливает вредоносность патогена. Азот в составе удобрений часто стимулирует развитие многих грибных болезней; при борном голодании у льна развивается бактериоз. В то же время правильное применение минеральных удобрений, приводящее к оптимизации свойств почв, приводит к уменьшению обилия грибов токсинообразователей (Марфенина О.Е., Бондаренко Н.Г.). Так, например, оптимальные дозы NPK на среднеокультуренной почве снизили степень поражения кормовых бобов шоколадной пятнистостью до 0, по сравнению с поражением на контроле 73% (Минеев В.Г., 1990).

Различные минеральные удобрения в неодинаковой степени влияют на поражение растений почвенными патогенами. Для ржи, пшеницы поражение грибами Cercosporella Repotrichoides снижается при применении азотных удобрений; для ячменя при поражении Ophiobolus graminis - при применении ((NH4)2SO4; для пшеницы (Garumannomyces graminis) - при применении (NH4)2SO4; для хлопчатника (Fusarium oxysporum) – при применении (NH4)2SO4, NH4NO3; для вики, гороха (гриб Fusarium phuscoli) – при применении СаСО3 и (NH4)2SO4; для хлопчатника (гриб Verticillum duhliae) – при применении (NH4)2SO4; для томата (Scierocium rolfsii) – при применении Са(NO3)2; для сахарной свеклы (S. Rolfsii) – при применении (NH4)2SO4, Ca(NO3)2; для пшеницы, ячменя (Cochliobolus sativus) – при применении фосфорных удобрений. Поражение грибами Ophiobolus graminis нарастает для пшеницы при применении NaNO3; для пшеницы, ячменя (Сochliobolus sativus) – при применении СаСО3; для хлопчатника при поражении грибом Phymatotrichum omnivorum – при применении СаСО3, грибом Verticillum albo-atrum – при применении Ca(NO3)2, (NH4)2SO4, KNO3; для картофеля (Streptomyces scabies) – при применении NH4NO3 + CaCO3; для томата (Fusarium oxysporum) – при применении нитратов; для фасоли (Fusarium solani) – при применении NH4; для сорго (Fusarium moniliforme) – при применении NH4NO3 + NaNO3 (Дурынина и Чичева, ссылка по Минееву В.Г., 1990).

Действие удобрений на развитие патогенов обусловлено их влиянием на процессы метаболизма в растениях, непосредственно на процессы метаболизма патогена, влиянием на развитие микроорганизмов в зоне ризосферы и изменением свойств почв в зоне ризосферы. Так, например, внесение в почву сульфата аммония приводит, в связи с поглощением растением NH4, к подкислению почв (образование серной кислоты, в связи с обменом в корне NH+ на Н+). Повышенная кислотность в зоне ризосферы сдерживает прорастание конидий и развитие Fusarium, Ophiobolus, Verticillium. Естественно, что одновременное внесение (NH4)2SO4 и извести снижает антипатогенное действие сульфата аммония.

Микроэлементы влияют на биохимические процессы у микроорганизмов, в том числе и грибов, действуют на ферментативную активность дегидрогеназы, каталазы, протеолитических и амилолитических ферментов. Для успешного развития многих грибов необходимо присутствие в почве железа, цинка, марганца, меди, бора. Однако, потребность в микроэлементах для разных видов и даже в пределах одного вида значительно варьирует. В связи с этим, внесение ряда микроэлементов в почву как повышает устойчивость растений к инфекционным заболеваниям, так и ингибирует в почве возбудителей болезней. Так, например, по данным Аскарова С.А., внесение марганца и бора в оптимальных дозах в составе обогащенного ими суперфосфата снижало поражение хлопчатника вертициллезным увяданием на 10-40%.

Окультуривание почв чаще приводит к уменьшению заражения растений. Так, например, на хорошо окультуренной почве токсичных штаммов грибов было 6%, а на слабоокультуренной – 31%.Угнетенное и патологическое состояние растений часто вызывается не только недостатком, но и избытком определенных элементов. Избыточное содержание алюминия и марганца отмечается в кислых (особенно суглинистых и глинистых) почвах, в почвах избыточно увлажненных. Вредное влияние на растения избыточного содержания марганца усиливается на кислых (песчаных, супесчаных, торфянистых), а также на уплотненных или избыточно увлажненных почвах, содержащих мало подвижных соединений фосфора, кальция, а на легких почвах и магния. Избыточное азотное питание стимулирует развитие болезней. Так, например, Виноградовой Г.Н. (1966) установлено, что высокие дозы азотных и калийных удобрений в подкормку повышали поражаемость брюссельской капусты серой гнилью. При этом подкормка фосфорными удобрениями ослабляла вредное действие азотных и калийных удобрений.

**18. Мониторинг почв сельскохозяйственного использования**

В связи с усилением антропогенного воздействия на природу, все большая доля территории становится опасной для жизни людей, неблагоприятной для ведения сельскохозяйственного производства. Согласно анализу, проведенному в середине девяностых годов только очень острые неблагоприятные экологические ситуации отмечались в России на площади 2,5 млн. км2, что составляет 15% всей территории. В связи с этим, контроль за состоянием окружающей среды, выделение территорий различной экологической напряженности с целью разработки мероприятий по оптимизации обстановки представляет важную народнохозяйственную задачу.

Под мониторингом понимается система наблюдений и контроля за состоянием окружающей среды с целью разработки мероприятий по ее охране, рациональному использованию природных ресурсов и предупреждению критический ситуаций, вредных или опасных для здоровья людей, живых организмов, их сообществ, природных комплексов и объектов. Это отражение динамики происходящих в объекте изучения изменений и прогноза развития ситуации. Мониторинг включает наблюдение, оценку фактического состояния, прогноз состояния, оценку прогнозируемого состояния, разработку путей оптимизации обстановки.

Агроэкологический мониторинг представляет собой общегосударственную систему наблюдений и контроля за состоянием и уровнем загрязнения агроэкосистем (и сопредельных с ними сред) в процессе интенсивной сельскохозяйственной деятельности. Отличительные особенности функционирования агроэкосистем, по сравнению с природными экосистемами, по мнению Кирюшина В.И., состоят в следующем:

1. Агроценозы находятся вне сферы естественного отбора; эти системы создаются и поддерживаются человеком.

2. Агроценозы получают, наряду с солнечной энергией, дополнительное количество энергии, которое вносит в них человек (для антропогенной энергии составляет 5-10%).

3. Агроценоз полевых культур – сообщество монодоминантное, чаще односортовое. Угнетение роста и развития основной культуры не может быть компенсировано усиленным ростом других видов растений. В результате устойчивость продуктивности агроценоза ниже, чем в естественных экосистемах.

4. В агроценозах период вегетации культивируемых растений короче вегетационного сезона. Время взаимодействия фитокомпонента с почвой намного короче, чем в естественных ценозах, что определяет интенсивность обменных процессов.

5. В агроценозах круговорот химических веществ не компенсирован, часть вещества изымается из экосистемы безвозвратно. В агроценозах с хозяйственно полезной продукцией отчуждается 50-60% органического вещества от его количества, аккумулированного в продукции.

6. Природные экосистемы являются системами авторегуляторными; агроценозы – управляемыми человеком.

Как указывается в учебнике «Агроэкология» под редакцией Черникова и Черкеса, основными принципами агроэкологического мониторинга являются: 1) комплексность, т.е. одновременный контроль за тремя группами показателей, отражающих наиболее существенные особенности вариабельности агроэкосистем (показатели ранней диагностики изменений; показатели, характеризующие сезонные или краткосрочные изменения; показатели долгосрочных изменений; 2) непрерывность контроля за агроэкосистемой, предусматривающая строгую периодичность наблюдений по каждому показателю с учетом возможных темпов и интенсивности его изменений; 3) единство целей и задач исследований, проводимых разными специалистами (агрометеорологами, агрохимиками, гидрологами, микробиологами, почвоведами и т.д.) по согласованным программам под единым научно-методическим руководством; 4) системность исследований, т.е. одновременное исследование блока компонентов агроэкосистемы: атмосфера – вода – почва – растение – животное – человек; 5) достоверность исследований, предусматривающая что точность их должна перекрывать пространственное варьирование, сопровождается оценкой достоверности различий; 6) одновременность (совмещение, сопряженность) наблюдений по системе объектов, расположенных в различных природных зонах.

В агроэкологическом мониторинге выделяются две взаимосвязанные по информационной базе подсистемы: научная и производственная. Научной базой подготовки исходных данных для применения технологических решений является полигонный агроэкологический мониторинг. Такой мониторинг может осуществляться на делянках длительных опытов, постоянных участках слежения, реперных точках. Он при условии оснащения современными приборами и оборудованием позволяет проводить фундаментальные исследования по широкому спектру вопросов. Производственная система включает мониторинг всех используемых сельскохозяйственных площадей страны по сравнительно небольшому набору показателей через 5-15 лет. Позволяет получить надежную систему сроковых характеристик.

*Особенности проведения мониторинга при различных антропогенных*

*воздействия*

Под влиянием различных антропогенных воздействий изменяются различные свойства почв и сопредельных земель, что определяет особенности проведения мониторинга нарушенных территорий. Деградация почв, рельефа, пород, вод и растительности происходит под влиянием отраслей производства, животноводства, птицеводства, механизации и в районах поселков, складов, технических сооружений. На свойства почв и сопредельных компонентов экологической системы влияют органические удобрения, минеральные удобрения, средства защиты растений, воздействие техники, нефтепродуктов, распашка территории, развитие водной и ветровой эрозии, осушения, орошения почв, их уплотнения, продукты селитебных зон, складов, технических сооружений, центров механизации и т.д.

При проведении мониторинга земель сельскохозяйственного использования отмечаются следующие особенности объекта: 1) большие площади нарушенных или деградированных земель; 2) в ряде случаев негативное воздействие на систему нельзя прекратить, что определяется необходимостью получения продуктов питания; 3) длительность воздействия; 4) комплексность воздействия многих факторов деградации на систему; 5) увеличивается миграция веществ из почв в водную и воздушную среду; 6) очень сильное влияние на биоту полей и сопредельных территорий; 7) для агрофитоценозов характерно коренное изменение объекта, изменение не только свойств, но также протекающих процессов и режимов, трофических цепей; происходит создание нового рельефа, новых почв, коренное изменение растительного покрова (это наблюдается при разработке торфяных месторождений, осушении, орошении, планировании рельефа территории, устройстве водохранилищ, лесных полос); 8) изменения в агрофитоценозе под влиянием антропогенных воздействий в большинстве случаев целенаправлены; однако, при этом повышение урожайности часто сопровождается изменением устойчивости систем, деградацией почв, вод и других компонентов экологических систем; 9) деградация систем возникает при превышении допустимых уровней нагрузки на них, однако, это сопровождается как увеличением количества токсикантов и биофильных элементов в почвах, так и обеднением почв. При этом обеднение почв элементами питания также сопровождается деградацией почв и сопредельных компонентов экологической системы.

При проведении мониторинга выделяются следующие особенности.

Мониторинг проводится на отдельных почвах (типах, подтипах, родах, видах, разновидностях, разрезах), так как трансформация отдельных таксономических единиц почв под влиянием антропогенных воздействий существенно отличается.

Мониторинг следует проводить с учетом структуры почвенного покрова, которая в значительной степени влияет на характер трансформации и миграции вещества в системе.

Мониторинг следует проводить с учетом полей севооборота, так как антропогенные нагрузки на поля многолетних трав, пропашных культур или залежи резко отличаются. Нагрузки отличаются для овощных и полевых севооборотов и т.д.

Мониторинг почв сельскохозяйственного использования тесно связан с их сертификацией и с сертификацией качества сельскохозяйственной продукции. От качества почв зависит не только химический и биохимический состав продукции растениеводства, овощеводства, садоводства, но и особенности ее хранения, транспортировки и переработки, стоимость на мировой рынке. Качество почв в значительной степени определяет качество чая, кофе, виноградных вин, продукции животноводства, качество льна и хлопка, возможность их окраски, качество каракуля и овчины и т.д.

Качество почв и земель, а следовательно, параметры мониторинга, в значительной степени, зависят от характера использования земель и уровня интенсификации сельскохозяйственного производства. Почвы, оптимальные для выращивания елок, не пригодны для выращивания полевых культур, почвы, хорошие для выращивания овощей в поймах рек, не подходят для садов и т.д. При определении степени деградации почв они также в различной степени пригодны под те или иные культуры.

Определенными особенностями обладает проведение мониторинга и при действии на почву разных факторов деградации. При рекреационных нагрузках и дегрессии оценивается их влияние на плотность почв, проективное покрытие, состав ассоциаций, состав биоты, гумус, развитие водной и ветровой эрозии, опустынивание. Уменьшение биопродуктивности угодий приводит и к уменьшению свежеобразованного органического вещества, а следовательно, к уменьшению структурообразующей, комплексообразующей способности почвенного раствора, его биологической активности и протекторной функции. Это приводит к изменению водно-физических свойств почв и почвенных вод, воздуха,

Подкисление почв происходит под воздействием кислых дождей, применения физиологически кислых удобрений, кислых продуктов, появление которых обусловлено протекающими почвообразовательными процессами. Для оценки воздействия кислых продуктов на компоненты экологической системы оценивается состав кислых продуктов, интенсивность воздействия, продолжительность воздействия, периодичность, монотонность, импульсность. При этом, величина рН определяет возможность протекания отдельных деградационных процессов, а количество ионов Н+ - интенсивность воздействия. При мониторинге кислых почв оценивают рН, количество кислых продуктов, буферные системы в кислом интервале, ферментативную и микробиологическую активность, гумусное состояние. В легких по гранулометрическому составу почвах подкисление не вызывает появления токсичных концентраций в растворе железа, алюминия, марганца. В то же время, как для суглинистых и глинистых почв мониторинг должен включать их определение. В незагрязненных почвах подкисление не вызывает значительного увеличения концентрации в почве и в растворе подвижных форм свинца, кадмия и т.д., а в загрязненных почвах при мониторинге их определение необходимо. Обобщенным индикатором влияния подкисления на почвенную систему является фитотоксичность, проективное покрытие и состав видов.

Следует учитывать, что подкисление почв изменяет устойчивость их к воздействию других факторов деградации. Подкисление почв уменьшает их устойчивость к загрязнению тяжелыми металлами, пепеуплотнению, но увеличивает устойчивость к развитию анаэробных процессов и т.д. В связи со значительными изменениями при подкислении потоков вещества, при мониторинге кислых почв необходимы исследования –состояния водной и воздушной среды, растительного покрова.

Особенностью проведения мониторинга при осушении почв является анализ состояния и изменений сопредельных территорий и сред. Учитывается, что при осушении происходит опускание уровня грунтовых вод, пересыхание мелких рек, потеря в рыбном хозяйстве, лесном хозяйстве, изменения в качестве грунтовых вод, усиление паводков, развития водной и ветровой эрозии, дигрессии и рекреации, возникновение пожаров, существенные изменения почвенного и растительного покрова.

Особенностью проведения мониторинга при орошении почв является обязательная оценка способов полива, состава поливных вод (их засоление и загрязнение), учет норм полива и продолжительности орошения. Так, например, при орошении дождеванием существенные изменения происходят в слое 0-50 см, а при орошении напуском – в слое до 100-150 см. Приходится сочетать локальный мониторинг с региональным, так как изменениям подвергаются не только неорошаемые участки в пониженных элементах рельефа, но также участки в нижнем течении рек, в которые сбрасываются оросительные воды. В ряде случаев происходит выклинивание оросительных вод и на значительном расстоянии от орошаемой территории, что связано с гидрологией участков. Учитывают, что при орошении происходят существенные изменения биоты, почв, растительности, рельефа, геологического строения, водной и воздушной среды. При этом происходит подтопление сопредельных территорий, поднятие уровня грунтовых вод, наблюдаются просадки, карстовые явления, динамические сдвиги и т.д., возникают новые геохимические барьеры. В водной среде увеличивается количество кальция, железа, марганца, алюминия, калия, нитратов, углерода, пестицидов и т.д.

Следует прогнозировать вспышку щелочности при поливах и усиление сульфатредукции и резкое повышение концентрации сероводорода. В воздушной среде увеличивается концентрация углекислого газа, аммиака, сероводорода, метана, ацетилена и ряда других газов. В почвах происходит засоление, осолонцевание, потеря структуры, увеличение восстановленности почв с образованием Fe2+, Mn2+, увеличивается подвижность железа, алюминия, марганца, сероводорода, углекислого газа, происходит заиливание почв, увеличение их липкости и вязкости.

При загрязнении почв тяжелыми металлами при оценке факторов деградации учитывают состав токсикантов в водной и воздушной среде, размер частиц, их химическое состояние, интенсивность и продолжительность выбросов, розу ветров, периодичность, монотонность или импульсность выбросов. Учитывают, что воздушные выбросы переносятся на расстояние до 300 км (мониторинг, как правило, проводится на расстояние до 30 км от источника загрязнения). Следует отметить, что изменения охватывают почву, водную и воздушную среду, биоту, растительный покров, влияют на сопредельные территории. При этом, интенсивность загрязнения, помимо внешних факторов воздействия, различается на почвах разного гранулометрического состава; на определенных элементах микро- и мезорельефа; на разных типах почв, под определенными растительными ассоциациями. Поэтому анализ образцов только на разном расстоянии от источника загрязнения без учета зависимости загрязнения от вышеуказанных факторов не дает корректного ответа о нарушениях в экологической системе. Для оценки разной степени загрязнения, характера и продолжительности загрязнения используются определенные индикаторные виды биоты и растений.

# Необходимая информация при проведении мониторинга

При разработке мониторинга необходимо знать источники поступления загрязняющих веществ, процессы переноса токсикантов, процессы ландшафтно-геохимического перераспределения, данные о состоянии антропогенных источников эмиссии загрязняющих веществ. Система мониторинга охватывает изучение следующих изменений окружающей природной среды: 1) источников и факторов воздействия; 2) состояния окружающей природной среды; 3) состояния биотической составляющей биосферы; 4) реакции крупных систем и биосферы в целом; 5) состояния здоровья и благосостояния населения.

В первую очередь, должна быть установлена приоритетность факторов, ведущих к наиболее серьезным изменениям окружающей природной среды. Необходимо выделить отдельные элементы тех или иных объектов наблюдения, наиболее подверженных воздействию. Необходимо определить критические точки, переход через которые вызывает нарушения и разрушения экосистем. Определение приоритетности для подсистем мониторинга при решении различных задач может привести к различным результатам для одного и того же фактора воздействия. Как правило, проводят наблюдения за откликом (обратимые изменения) и последствиями (необратимые изменения) у биоты. Проводят наблюдения по функциональным и структурным биотическим признакам. Для получения информации об изменениях экосистем необходимы данные об их первоначальном состоянии до вмешательстве человека. Необходима оценка фонового состояния.

### Критерии экологической оценки состояния почв

При оценке экологического состояния почв учитывают степень воздействия и процент площади деградированных земель. В качестве критериев экологического состояния, используют химические и физико-химические свойства почв, степень загрязнения их тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами, изменение физических свойств и морфологического строения почв, морфологические показатели и фитотоксичность, ботанические показатели (таблица 25).

Таблица 25

Критерии экологической оценки состояния почв (утверждены Министерством

охраны окружающей среды и природных ресурсов 30 ноября 1992 г.)

Показатели :Экологическое :Чрезвычайная :Удовлетворительная

:бедствие :экологическая :ситуация

: :ситуация :

% площади земель, выведенных из

с/х оборота, вследствие деградации более 50 30-50 до 5

уничтожение гумусового горизонта А+В Апах (А1) до 0,1 А

перекрытие поверхности почвы

абиотическим наносом более 20 10-20 отсутствует

увеличение плотности почвы по

отношению к равновесной, % более 40 30-40 до 10

превышение уровня грунтовых вод,

% от критического более 50 25-50 допустимый

радиоактивное загрязнение, км/км2

цезий-137 более 40 15-40 до 1

стронций-90 более 3 1-3 до 0,3

сумма изотопов плутония более 0,1 менее 0,1 нет

мощность экспозиционной дозы на

уровне 1 м от поверхности мкР/час более 400 200-400 до 20

потеря гумуса в пахотных почвах

за 10 лет (относительные %) более 25 10-25 менее 1

увеличение содержания легкораст-

воримых солей, г/100 г более 0,8 0,4-0,8 до 0,1

увеличение доли обменного натрия

% от Е более 25 15-25 до 5

превышение ПДК химических веществ

1 класс опасности более 3 раз в 2-3 раза нет

2 класс опасности более 10 раз в 5-10 раз нет

3 класс опасности (включая нефте-

продукты) более 20 раз в 10-20 раз нет

Zc более 128 в 32-128 менее 16

Снижение уровня активной микробной

массы более 100 раз 50-100 до 5 раз

фитотоксичность почв (снижение числа

проростков в % к фону) более 200 140-200 до 110

Дополнительные показатели

доля загрязненной с/х продукции, % от

проверенной более 50 25-50 до 5

число яиц гельминтов в 1 кг почвы более 100 10-100 нет

число патогенных микроорганизмов

в 1 кг почвы более 10-6 10-6-10-5 менее 10-4

коли-титр (для почвы – наименьшая

масса почвы, в которой содержится

1 кишечная палочка) менее 0,001 0,01-0,001 более 1.0

генотоксичность почвы (число мутаций

по сравнению с контролем) число раз более 1000 100-1000 менее 2

В то же время, для отдельных показателей почв разработаны более детальные оценки степени деградации и экологической напряженности. Черниковым В.А. предлагаются критерии степени деградации гумусовых кислот почв.

Таблица 26

Степень деградации гумусовых кислот дерново-подзолистых почв,

% к гумусовым кислотам недеградированных почв (по Черникову В.А.)

Диагностические показатели : Степень деградации

:------------------------------------------------------

: слабая : средняя : сильная

содержание ат % С 80-90 75-85 75

Н 85-90 80-85 80

степень окисленности 80-85 75-80 75

атомное отношение Н/С 80-85 75-80 75

отношение алифатических аминокислот к сумме

ароматических и гетероциклических 80-85 75-80 75

отношение гуматов к гуминовым кислотам 80-85 75-80 75

соотношение неароматических и ароматических

соединений 80-85 75-80 75

Таблица 27

Поправочные коэффициенты для оценки степени деградации гумусовых

соединений почв

Степень деградации : Гранулометрический состав

:----------------------------------------------------------------------

: песок : легкий : средний : тяжелый

: : суглинок : суглинок : суглинок

недеградированные почвы 1,0 1,0 1,0 1,0

слабо деградированные почвы 1,23 1,1 1,05 1,05

средне деградированные почвы 1,45 1,2 1,25 1,15

сильно деградированные почвы 1,60 1,3 1,35 1,20

Мосиной Л.В. предлагается оценка степени деградации почв по их микробиологической активности.

Таблица 28

Оценка состояния экосистем по микробиологическим критериям

Содержание :Наличие актино- :Число видов :Содержание :Уменьшение мик-

стерильных акти :мицетов группы :бацилл :фитопатогенных :робной биомассы, %

номицетов, % :Niger, % : : :

высокая степень устойчивости экосистемы

отсутствуют отсутствуют 7-8 отсутствуют отсутствуют

средняя степень устойчивости

35-40 отсутствуют - отсутствуют не отмечено

слабая степень устойчивости

52-50 > 50 3 18-20 20-50

Разработаны градации деградации почв по фитотоксичности и генотоксичности.

Таблица 29

Критерии для выделения зон экологической напряженности генотоксичности

почвы (тест Эймса)

Рост числа мутаций, по сравнению с : Площадь проявления показателя, %

контролем :-----------------------------------------------------------------

: < 5 : 5-10 : 20-30 : > 50

до 2 раз 1 \*) 1 1 1

в 2-10 раз 2 2 2 2

в 10-100 раз 2 3 3 4

в 100-1000 раз 3 3 4 5

более, чем в 1000 раз 3 3 5 5

\*) 1 – относительное экологическое благополучие; 2 – риск; 3 – кризис; 4 – бедствие; 5 – экологическая катастрофа.

Детально разработана система экотоксикологической оценки пестицидов.

Таблица 30

Балльная система экотоксикологической оценки пестицидов по Соколову М.С.

и Глазовской М.А.

Показатель вторичного эффекта пестицидов : Баллы

персистентность в почве, мес. менее 1 2

* 1. 4
  2. - 6

более 24 - 8

влияние на процессы ферментации и биологическую активность почвы

не оказывает влияния 0

оказывает на отдельные процессы и популяции 1

влияет на многие процессы и популяции 2

выщелачивание по почвенному профилю, см

не мигрируют 0

до 15 см 1

до 50 см 2

глубже 50 см 3

перемещение из почвы в культивируемые растения и фитотоксичное воздействие

не адсорбируются растениями 0

адсорбируются, но не имеют вторичного воздействия 1

адсорбируются и снижают качество урожая 2

адсорбируются, снижают качество урожая и оказывают фитотоксичное

действие на культуры 3

реакция на фотолиз

разлагается фотохимически 0

устойчивы к фотохимическому разложению 1

оценка по предельно допустимой концентрации, мг/кг

в сельскохозяйственной продукции – более 1 0

1- 0,1 - 1

0,1-0,01 2

менее 0,01 3

0 4

в воде - более 1 – 0; (1-0,1) – 1; (0,1-0,01) – 2; менее 0,01 – 3; 0 – 4

воздействие на органолептические свойства

сельскохозяйственной продукции: не воздействуют – 0; воздействуют – 1;

питьевой воды, допустимая концентрация, мг/кг – более 0,1 – 0; (0,1-0,01) – 1;

(0,01-0,001) – 2; менее 0,001 – 3

летучесть

соединения не улетучиваются – 0; улетучиваются, но концентрация насыщения

ниже максимально допустимого предела – 1; равна максимально допустимому пределу – 2; равна пределу токсичности – 3

токсичность для холоднокровных животных (ЛД50) мг/кг

более 1000 – 1; (200-1000) – 2; (50-200) – 3; менее 50 –4

способность накапливаться в организме теплокровных животных

коэффициент бионакопления более 5 – 0; (3-5) – 1; (1-3) –2; менее 1 – 3

При суммарном количестве баллов по всем показателям 21 и более – очень токсичные

Препараты; 21- 14 – среднетоксичные; 13 и ниже – относительно слаботоксичные препараты.

Значительное изменение свойств почв происходит под влиянием тяжелых металлов, содержащихся в сточных водах и осадках, вносимых на поля. Существующий принцип расчета доз основан на том, что после внесения компонентов на основе осадков сточных вод суммарное содержание токсиканта в почве (с учетом рассеивания в пахотном слое) не должно превышать ПДК – предельно допустимой концентрации валового содержания исследуемых токсикантов. При этом, в ряде случаев. вводятся эмпирические коэффициенты, учитывающие содержание гумуса, рН, гранулометрический состав (Касатиков В.А., 1989). Директивами Европейского сообщества (ЕС) в 1986 году определены обязательные нормы при внесении ила в почвы сельскохозяйственного использования.

Таблица 31

Допустимые концентрации тяжелых металлов в почвах и илах (рН=6-7)

Элемент : В почве, мг/кг : В иле, мг/кг :Максимальное поступление, кг/га/год

Hg 1-1,5 10-25 0,10

Cd 1-3,0 20-40 0,15

Zn 150-300 2500-4000 30

Pb 50-300 750-1200 15

Cu 50-140 1000-1750 12

Ni 30-75 300-400 3

Cr - - -

Наиболее высокие уровни загрязнения почв тяжелыми металлами (цинком до 500-1000 мг/кг) установлены для городов с цветной и черной металлургией. Почвы вокруг перерабатывающих заводов загрязнены углеводородами, сероводородом, серой, вокруг машиностроительных заводов и химических предприятий – свинцом, медью, хромом, железом. Техногенные ореолы в почвах формируются в течение 20-50 лет, при минимальной продолжительности загрязнения 5-10 лет, а для мышьяка и цинка – 1-2 года. Существенные дополнения в предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в почвах внесены, в связи с тем, что фоновое содержание их в отдельных почвах отличается. Так, например, фоновое содержание токсикантов в отдельных почвах существенно отличается от среднего в России. Так, например, фоновое – нормальное содержание свинца (в мг/кг) составляет в тундрово-глеевых почвах – 15-29; в дерново-подзолистых – 6-15; серых лесных – 10-25; черноземах – 13-28; каштановых – 18-26; красноземах – 20-28.

Корректировка ПДК обусловлена также тем, что, в зависимости от гранулометрического состава, рН среды и других свойств почв, негативное действие тяжелых металлов на биоту отличается. По мнению Важенина И.Г., под ПДК для почвы следует понимать такую концентрацию химического элемента-загрязнителя, которая при длительном (многолетнем) воздействии на почву не вызывает каких-либо патологических изменений в почвенной биоте и в свойствах ее абиотической части, особенно, в ППК. В связи с указанным, оценка степени загрязнения почв тяжелыми металлами проводится не только для валовых форм элементов, но и для их подвижных форм.

Таблица 32

Группировка почв по содержанию подвижных форм элементов-загрязнителей,

растворимых в 1н растворе НС1

Элемент : Фон: 0 : Группы почв и градации уровней загрязненности, мг/кг

: :----------------------------------------------------------------------------

: : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6

марганец 100-150 200 400 600 800 1000 1200

хром 15-30 30 60 90 120 150 200

ванадий 10-20 20 40 60 80 100 120

цинк 5-10 16 20 40 60 80 100

никель 4-6 8 16 24 32 40 48

медь 3-5 7 14 21 28 35 42

свинец 2-3 5 10 15 20 25 30

кобальт 1-2 3 6 9 12 15 18

кадмий менее 0,1 0,2 0,5 1 1,5 2 3

Таблица 33

Группировка почв по содержанию подвижных форм тяжелых металлов,

извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН=4,8)

Элемент : Фон: 0 : Группы почв и градации уровней загрязнения, мг/кг

: :------------------------------------------------------------------------------

: : 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6

марганец < 50 50 100 150 200 250 300

хром < 10 10 20 30 40 50 60

ванадий < 10 10 20 30 40 50 60

цинк < 5 5 10 15 20 25 30

никель < 2 2 4 6 8 10 12

медь < 1 1 2 3 4 5 6

свинец < 0,8 0,8 1,5 2,3 3,2 4 5

кобальт < 0,5 0,5 1 1,5 2 2,5 3

молибден < 0,3 0,3 0,5 1 1,5 2 2,5

кадмий < 0,1 0,1 0,2 0,5 1,0 1,5 2,0

\*) молибден определяется в оксалатной вытяжке по Григу.

Таблица 34

Группировка почв по валовому содержанию химических элементов в

окрестностях предприятий цветной металлургии

Элемент :Фон: :Знамена- : Группы почв и градации уровней загрязненности, мг/кг

:«Кларк» :тель про- :---------------------------------------------------------------------------

: 0 :гресии : 1 : 2 : 3 : 4 : 5

марганец 800 2 1600 3200 6400 12800 25600

хром 200 2 400 800 1600 3200 6400

фтор 200 2 400 800 1600 3200 6400

ванадий 100 2 200 400 800 1600 3200

литий 80 2 160 320 640 1280 2560

цинк 50 2 100 200 400 800 1600

никель 40 3 120 360 1080 3240 9720

медь 20 3 60 180 540 1620 4860

свинец 10 3 30 90 270 810 2480

кобальт 8 3 24 72 216 648 1944

молибден 2 3 6 18 54 162 486

кадмий 0,5 4 2 8 32 128 512

селен 0,1 4 0,4 1,6 6,4 25 100

ртуть 0,02 4 0,08 0,32 1,28 5 20

В последних разработках (дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК №6229-91 – гигиенические нормативы ГН 2.1.7.020-94) величина ОДК приводится с учетом гранулометрического состава и рН среды.

Тяжелые металлы накапливаются в организме человека. Совместно установлены синергизм и антагонизм такого комплексного воздействия. Токсичность иона свинца усугубляется недостатком по кальцию, а лития по натрию. Из-за антагонизма цинка и кадмия введение избыточных количеств первого приводит к уменьшению содержания последнего. Аналогичная ситуация возникает и при действии нескольких токсикантов на почву и растения. Однако, учет эффектов синергизма, антагонизма и других эффектов при выработке ПДК, ОДК и уровней напряженности экологических систем пока не проводятся.

*Критерии экологической оценки состояния растений*

Ботанические критерии нарушения экологического состояния систем имеют большое значение, так как они не только чувствительны к нарушениям окружающей среды, но и наилучшим образом прослеживают изменения деградации в пространстве. Ботанические тесты позволяют в ряде случаев оценить извне уровни загрязнения, в связи с накоплением отрицательных воздействий в растениях в течение длительного времени. Негативные изменения учитывают на разных уровнях организации: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (изменение соотношения площадей в ландшафте). По Виноградову В.В., ботанические показатели нарушенности экосистем приведены в следующей таблице.

Таблица 35

Ботанические показатели нарушенности экосистем

Показатели : Зоны экологических

:-----------------------------------------------------------------------------------------

: нормы : риска : кризиса : бедствия

ухудшение видово- естественная уменьшение смена господст- уменьшеине оби-

го состава естест- смена доминан- обилия господ- вующих видов на лия вторичных

венной раститель- тов, субдоминан-ствующих, в вторичные, в ос- видов, полезных

ности тов и характер- особенности новном непоеда- растений практи-

ных видов полезных ви- емые сорные и чески нет

дов ядовитые

изменение ареалов отсутствие ослабление, разделение, со- исчезновение

изреживание кращение

повреждение рас- отсутствие повреждение повреждение повреждение

тительности наиболее чувст- среднечувстви- слабочувстви-

вительных ви- тельных видов тельных видов

дов (хвойных (травы, кустар-

деревьев, лишай- ники)

ников)

появление тери- отсутствие редко спорадически массово

тологических

отклонений

уменьшение ин- менее 10 10-20 25-50 более 50

декса разнообра-

зия Симпсона, %

лесистость % от более 80 60-70 50-30 менее 10

зональной

повреждение менее 5 10-30 30-50 более 50

древостоя, %

повреждение менее 5 10-30 30-50 более 50

хвои, % био-

массы

гибель посевов менее 5 5-15 15-30 более 30

в % площади

проективное по- более 80 60-80 50-30 менее 10

крытие пастбищ-

ной степной и

полупустынной

растительности

% от нормальной

В ряде районов отклонение параметров химических и биологических свойств растений от нормы обусловлено не только их антропогенным загрязнением, но и с экстремально высоким или экстремально низким содержанием в литосфере. Такие районы относятся к патогенным геохимическим аномалиям. При этом, развитие патологических изменений у биоты возможно как при избытке элементов (As, Hg, Sr, Pb и т.д.), так и в связи с пониженным содержанием F, I, Ca, Ce, а также при дисбалансе Са/Р. Металлы, поглощаемые организмами, являются как активизаторами действия ферментов (Zn, Mn, Fe, Cd, Co, Ni, Hg, Re, Cs, Li, Ca, Al …), так и ингибиторами (Be, Sr, Ba, Cd, Hg, Ni, Fe).

В соответствии с теорией пороговых концентраций Ковальского В.В., организм может регулировать свои функции только в определенных интервалах концентрации и соотношений элементов. Поэтому важным критерием состояния экологических систем являются биохимические критерии состояния растений. Биохимические критерии экологического нарушения основаны на измерениях аномалий в содержании химических веществ в растениях. Эти критерии, по Трофимову В.Т. и Ермакову В.В., приведены в следующей таблице.

Таблица 36

Биологические критерии оценки экологического состояния территорий

Химический: Степень экологического неблагополучия :Относительно удо-

элемент :--------------------------------------------------------------------------:влетворительное

: бедствие : кризис : риск :состояние - норма

концентрация микроэлементов в укосах, пастбищных растениях в растительных кормах

(мг/кг сухого вещества)

Zn меньше 2 или 2-10 или 100-500 10-20 или 60-100 2-60

больше 500

Cu меньше 0,5 или

больше 100 0,5-2 или 80-100 2-20 или 20-80 5-50

Со меньше 0,01 или

больше 50 0,05-0,01 или 5-50 0,05-0,2 или 5-10 0,2-1,0

Мо меньше 0,2 ил

больше 50 0,2-0,5 или 10-50 0,5-1,0 или 3-10 1-3

В меньше 1 или

больше 300 0,1-0,5 или 100-300 0,5-1,0 или 30-100 1-30

F меньше 1 или

больше 200 1-3 или 100-200 3-5 или 100-200 5-30

I меньше 0,05 или

больше 20 0,05-0,1 или 5-20 0,1-0,2 или 2-5 0,2-2,0

Se меньше 0,01 или

больше 50 0,01-0,03 или 10-50 0,03-0,05 или 2-10 0,05-1,0

содержание высокотоксичных химических элементов в кормах и укосах растений

(превышение МДУ, раз)

As, Cd, Cr,

Pb, Hg, Ni, Sb > 10 5-10 1,5-5 1,1-1,5

содержание токсичных химических элементов в растениях и растительных кормах

(превышение фоновой концентрации, раз)

Ba, Be, Ti > 10 5-10 1,5-5 1,1-1,5

отношение кальция к фосфору в кормах

Са:Р менее 0,1 или

более 30 0,1-0,4 или 10-30 0,4-1,0 или 3-10 1-3

отношение кальция к стронцию в кормах и укосах растений

Ca:Sr < 1 1-10 10-50 > 50-100

геохими-

ческое

воздей-

ствие опасное сильное умеренное слабое

Для характеристики территориальных особенностей геохимического техногенного воздействия используют региональный суммарный коэффициент ноосферной концентрации -–СnS: CnS = DiCni + … DkCnk, где Di – Dk – техногенное давление различных продуктов на изучаемой территории; Сn – коэффициент ноосферной концентрации.

Сn = ∑C1/N1 + … + Ci / Ni, где С - содержание компонента в данном продукте; Ni – кларки соответствующих аномальных элементов в ноосфере (биосфере).

Экологические критерии нарушения животного мира рассматривают на ценотических уровнях (видовое разнообразие, пространственная структура, трофическая структура, биомасса и продуктивность, энергетика) и на популяционных уровнях (пространственная структура, численность и плотность, поведение, демографическая и генетическая структура).

### Интерпретация и графическое изображение данных по загрязнению

*агрофитоценозов*

При графическом выражении уровней загрязнения в рекомендациях 1992-1993 г.г. указывается, что интерполяция данных и выделение контуров почв разной степени загрязненности проводят вручную, распространяя полученные результаты определения загрязняющего вещества на ключевом участке на всю площадь ячейки сетки, или наносят места пробоотбора на картоснову точками и в этих точках отмечают соответствующие значения концентрации загрязняющих веществ. Изолинии, соединяющие точки с одинаковыми значениями, проводятся в соответствии с градациями степени загрязнения. Для интерполяции пространственных данных предлагается использовать следующие комплексы программ на ЭВМ: метод сглаживания, метод аппроксимации, метод линейной интерполяции, метод точечного крикинга. На экспертизу представляются следующие картографические материалы: ландшафтная карта, ландфатно-геохимическая карта; карта использования земель, карта антропогенных и техногенных источников воздействия; почвенная карта и карты деградации и истощения почв, карта современного состояния растительного покрова, составленная на основе карт растительных ассоциаций, карт патологических изменений растительности и серий биогеохимических карт, гидрогеологическая карта и карты изменения гидрологического режима водных объектов, геоморфологическая карта и карта оценки опасности современных геоморфологических процессов.