

Деградация почвы: современное состояние проблемы

Р.О.Бутовский, Фонд «Устойчивое развитие»

Деградация почвы – распространенное явление в мире и Европе. Хотя качество почвы может быть улучшено путем рекультивации, большинство антропогенных воздействий (в т.ч. сельскохозяйственная деятельность, иные виды землепользования, рекреационное воздействие и т.д.) снижают качество почвы, прямо или косвенно вызывая ее деградацию (Assessment, 2010).

Деградация почв и потеря почвенного плодородия приводит к уменьшению запасов гумуса и количества иных питательных веществ - азота, калия, фосфора, микроэлементов, увеличению кислотности почв, переуплотнению почв, ухудшению структуры почв и гранулометрического состава, переувлажнению почв, засолению почв, их разрушению и утрате в результате водной и ветровой эрозии, а также в виде механического удаления плодородного слоя почвы при строительных и горнодобывающих работах.

Часто проблемы, связанные с деградацией почв, вызваны несоблюдением технологий возделывания культур, обеспечивающих сохранение и улучшение почвенного плодородия. Здесь можно назвать несколько основных причин, вызывающих деградацию почв. К ним относятся: несоблюдение системы севооборотов в земледелии, хищническое отношение к земле и агрономическая неграмотность (Медведева, 2009).

Обычно выделяют физическую (эрозия, запечатывание, уплотнение и т.д.) и химическую (засоление, химическое загрязнение) деградацию почвы.

В настоящей главе приведены сведения о некоторых химических соединениях, загрязняющих окружающую среду в Европейском Союзе (ЕС) и содержатся прогностические оценки современных процессов. Обобщены данные FAO, Eurostat и ЕС (в основном программы Corine) и отчетов большинства стран ЕС (Koshiek et al., 1994), Европейского Агентства по охране окружающей среды (EEA, 2003), проекта PELCOM (Mucher et al., 2001) и проекта «Оценка почвенного биоразнообразия как инструмента политики в ЕС-27» (Assessment, 2010).

1. Физическая деградация почвы

1.1. Эрозия почвы

Почвенная эрозия – это удаление поверхностных слоев почвы путем смыва водой, выдувания ветром, удаления вместе со льдом, в результате резкого изменения температуры и влияния других природных факторов или факторов антропогенного происхождения, например, искусственного перемещения почвы с одного места на другое.

Естественная эрозия может существенно усиливаться в результате человеческой деятельности. Ежегодно 75 млрд. т³ почвы выносятся с суши (большинство с сельскохозяйственных полей) в результате ветровой или водной эрозии (Myers, 1993).

В Европе скорость эрозии почвы оценивается в 17 т/га/год, что значительно превышает скорость формирования почвы, которую оценивают в 1 т/га/год.

Эрозия оказывает воздействие на 46% Европейских почв, причем очень сильные пыльные бури могут выносить 20-40 т почвы/га, что в 20-40 раз превышает объемы естественного восстановления (Kirkby et al., 2004).

Данные государственного мониторинга земель показывают, что в России сформировалась и продолжает усиливаться тенденция ухудшения качественного состояния земель. Основными негативными процессами являются эрозия, дефляция, заболачивание, засоление, опустынивание, подтопление, зарастание сельскохозяйственных угодий кустарником и мелколесьем и другие процессы, ведущие к потере плодородия сельскохозяйственных угодий и выводу их из хозяйственного оборота. Согласно данным государственного доклада «О со-

стоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году» около 80% земель сельскохозяйственного назначения (или 190 млн. га) подвержены деградации, в первую очередь эрозии. Водной эрозии подвержено 17,8% площади сельскохозяйственных угодий, ветровой - 8,4%, переувлажненные и заболоченные земли занимают 12,3%, засоленные и солонцеватые - 20,1% сельскохозяйственных угодий (Медведева, 2009).

Непосредственный эффект эрозии – снижение содержания органического вещества в почве. В результате уменьшается доступность питательных веществ для почвенных организмов, их биомасса и, вероятно, их биоразнообразие. Эрозия может оказывать опосредованное действие на почвенные экосистемы и их функции, снижая разнообразие растений, биомассу и продуктивность, и как следствие, биоразнообразие (Assessment, 2010).

1.2. Уплотнение почвы

Уплотнение почвы - вид физической деградации, связанной с реорганизацией почвенных микро- и макро-частиц. Признаками уплотнения почвы является снижение пористости, проницаемости и нарушение распределения, размера и формы почвенных частиц по сравнению с исходным состоянием. В зависимости от интенсивности уплотнения почвы, частицы могут деформироваться или даже исчезать.

Одним из результатов уплотнения является формирование однородного слоя почвы. В границах этого слоя доступ корней растений к воде и кислороду затруднен. Это приводит к замедлению роста растений и корней, нарушению распределения корней в почве. Макропоры, образованные корнями растений и «инженерами» экосистем, наиболее чувствительны к уплотнению почвы. Потеря макро-пористости существенно снижает общую аэрацию почвы и интенсивность увлажнения, воздействуя на почвенные организмы (Assessment, 2010).

Непосредственным результатом уплотнения почвы является снижение числа доступных местообитаний для почвенных организмов. Уплотнение влияет в основном на почвенные организмы, живущие в верхних слоях почвы (дождевых червей), а также через нарушение аэрации может изменять микробную активность, влияя на пищевые сети.

Значительная часть Европейских почв имеет высокий (28%) или очень высокий (9%) риск уплотнения (Jones et al., 1997). Это связано, в том числе с использованием тяжелой сельскохозяйственной техники. В настоящее время давление техники массой в 13 т на влажных почвах вызывает уплотнение глубиной до 1 м.

1.3. Запечатывание почвы

Запечатывание поверхности почвы происходит тогда, когда поверхностная корка может препятствовать проникновению воды в более глубокие слои почвы. Эта корка играет важную роль, например, в полупустынных регионах и является местообитанием активных микробных сообществ.

Этот же термин применяется для обозначения антропогенного запечатывания, вызванного урбанизацией, которая оказывает намного более разрушительный эффект на почвенные сообщества. В этом случае почва покрывается непроницаемым слоем асфальта, бетона или других материалов. Эти почвы утрачивают свои функции, и почвенные организмы в конце концов погибают.

Уровень запечатывания варьируется в Европе и особенно высок в таких экстремально урбанизированных странах как Нидерланды или Средиземноморье, где туризм приводит к расширению площади урбанизированных территорий вдоль берега моря (Assessment, 2010).

1.4. Истощение запасов органического вещества в почве

Истощение запасов органического вещества в почве приводит к снижению почвенного плодородия и биомассы почвенных организмов.

К природным факторам, которые определяют количество органического вещества в почве, относят (Assessment, 2010):

- Климат как совокупность факторов, таких как ветер или интенсивность осадков, которые вносят вклад в распределение почвенного органического вещества в почве;
- Тип растительности, который в основном влияет на качество подстилки;
- Рельеф (например, крутизна склона может влиять на накопление органического вещества).

Антропогенные воздействия, которые влияют на содержание органического вещества, включают:

- Распашку пастбищ (например, перевод природных экосистем в сельскохозяйственные обычно приводит к утрате 50-75% предыдущего накопленного запаса углерода);
- Глубокую вспашку, которая приводит к удалению органического вещества из почвы. Агроэкосистемы в целом содержат меньше углерода, чем способны потенциально, поскольку происходят серьезные потери в результате усиленной эрозии и выщелачивания (Lal, 2005);
- Эрозию почвы;
- Вымывание (выщелачивание) питательных веществ из почвы;
- Искусственное удаление подстилки;
- Лесные пожары;
- Перевыпас.

Большая часть Европейских почв (45%) содержит незначительные запасы органического вещества (0-2%), равно как и половина пахотных почв нечерноземной зоны России отличается низким содержанием гумуса (Assessment, 2010). По данным Г.В. Добровольского (1999 г.) за последние 20 лет площадь деградированных почв увеличилась в 1,6 раза. Расчеты содержания гумуса на пашне, проведенные в 1967–1971; 1981–1985; 1986–1990 гг. и 1995 г. показали, что его содержание неуклонно падает. В результате происходящих процессов за последние 100 лет содержание гумуса сократилось почти на 30%, что представляется катастрофическим явлением для продовольственной безопасности страны (Медведева, 2009).

2. Химическая деградация почвы

Согласно Национального плана действий по охране окружающей среды РФ (Государственный доклад, 2007) для 54-55% регионов России самыми острыми считаются проблемы нарушений земель в процессе хозяйственной деятельности, их загрязнения и захламления. Поэтому необходима универсализация подходов к оценке загрязнения почв с целью разработки единых критериев качества и единой научно обоснованной политики их охраны.

Общая площадь нарушенных земель на 1 января 2008 г. составила 1145 тыс. га. Более половины нарушенных земель (55,6%) нарушены при разработке месторождений полезных ископаемых и проведении геологоразведочных работ, 19% — при торфоразработке, 12% — при строительстве. Согласно данным Государственного доклада МПР РФ «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 году» у предприятий и организаций сельского хозяйства находится 115,9 тыс. га нарушенных земель, в нефтедобывающей промышленности - 114,4 тыс. га, цветной металлургии - 107,1 тыс. га, на земельных участках, принадлежность которых документально не установлена, -124,7 тыс. га и на землях запаса — 101,5 тыс. га (Медведева, 2009).

Исключительно важным представляется сохранение и предотвращение потери функциональности наземных экосистем и почв, для чего предлагаются различные критерии (табл. 2.1).

Наиболее изученным и распространенным типом антропогенного воздействия на окружающую среду остается техногенное химическое загрязнение.

На территории России, например, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников в 1996 г. составили 20,4 млн. т (в том числе выбросы твердых веществ – 2,8 млн. т, диоксида серы – 4,7 млн. т, оксида углерода – 6,5 млн. т, оксидов азота – 1,7 млн. т, углеводородов (без ЛОС) – 2,9 млн. т, ЛОС –

Таблица 2.1

Критерии предотвращения потери функциональности наземных экосистем (по Koshiek et al., 1994, с изменениями)

Неблагоприятные факторы	Критические уровни
Выщелачивание нитратов	Стандарт ЕС для качества питьевой воды (50 мкг/л)
Выщелачивание пестицидов	Стандарт ЕС для суммы всех пестицидов (0,5 мкг/л)
Загрязнение с мест захоронения отходов	С точки зрения перспективы устойчивости не существует приемлемого уровня загрязнения стоками с мест захоронения отходов. Предлагается 2% территории региона как максимально приемлемый уровень.
Пере-эксплуатация	Скорости использования опережают скорость восстановления. Другими критическими элементами пере-эксплуатации являются засоление вод, обогащение минеральными солями и снижение или даже прекращение поступления грунтовых вод в поверхностные воды

1,7 млн. т), от передвижных источников (автотранспорт) - около 11 млн. т (Государственный доклад, 2007).

Наибольший вклад в загрязнение атмосферы вносят автотранспорт, энергетика, цветная и черная металлургия по валовым выбросам, а также по выбросам твердых (включая тяжелые металлы), жидких и газообразных веществ в целом (Государственный доклад, 2007). Наиболее сильно загрязняются почвы вокруг крупных промышленных предприятий (особенно химической и металлургической промышленности), больших городов, транспортных путей. При этом более 20% обследованных территорий недопустимо загрязнены. Общая площадь выявленных загрязнений токсикантами по состоянию на 1992 г. составляла 74,3 млн. га, в том числе 0,7 млн. га с чрезвычайно опасным уровнем загрязнения, причем они приходились на области с наибольшей плотностью населения, включая земли, прилегающие к Москве, Санкт-Петербургу, Кемерово и другим крупным городам (Экологическая безопасность России, 1995).

Поскольку токсичные химические соединения могут использоваться в различных областях экономической деятельности, эмиссии могут наблюдаться на любой стадии жизненного цикла соединений, от производства и применения до захоронения отходов.

Основные диффузные источники загрязнения почвы представляют: атмосферные выпадения закисляющих и эвтрофицирующих потенциально опасных химических соединений, поступление загрязнителей с водой или загрязненными почвенными частицами в результате эрозии, и непосредственное внесение человеком таких веществ как пестициды, иловые осадки, удобрения и навоза, содержащего тяжелые металлы (ЕЕА, 2003).

Загрязнение почвы от локальных источников в основном связано с наличием промышленных предприятий и неправильным захоронением бытовых и промышленных отходов. Влияние промышленной деятельности и степень риска, которому подвержены почвы и

грунтовые воды, а также спектр загрязняющих веществ различаются между странами. Эти различия могут приводить к возникновению различных систем классификации, и по многим странам информация является неполной.

Территории, загрязненные подобным образом, представляют серьезную угрозу здоровью и окружающей среде как результат поступления опасных веществ в грунтовые и поверхностные воды, накопления растениями и непосредственного контакта с людьми или взрыва газов, образующихся при хранении отходов (ЕЕА, 2003).

Захоронение отходов также способно загрязнять окружающую среду. В среднем 57% муниципальных отходов, производимых в ЕС, подвергаются захоронению, причем 84% - в странах Центральной и Восточной Европы. Утечки из мест захоронения отходов проникают в почву, грунтовые и поверхностные воды.

В наибольшей степени загрязнение влияет на буферные, фильтрационные и трансформационные свойства почвы.

Таким образом, наиболее важными проблемами загрязнения почвы следует считать закисление, химическое загрязнение и влияние на почву избытка питательных веществ (эвтрофикация). В последнее время важным источником загрязнения экосистем становится биологическое загрязнение.

2.1. Засоление почвы

Засоление – это накопление водорастворимых солей в почве. Причиной засоления являются неприемлемые сельскохозяйственные технологии, например, использование засоленной воды для полива или обработка почвы, которая препятствует вымыванию солей. Засоление может быть вызвано переэксплуатацией грунтовых вод в прибрежных районах, что приводит к инфильтрации соленых морских вод.

Соли в высоких концентрациях могут влиять на общий метаболизм растений и почвенной биоты, которые входят в состав основных функциональных групп. Многие бактерии впадают в состояние покоя в случае, если соленость превышает допустимую величину. Биологические регуляторы и инженеры экосистем исключительно чувствительны к засолению. В большинстве случаев засоление вызывает замедление роста растений и продуктивности, опустынивание и утрату почвенного биоразнообразия.

В Европе, по некоторым оценкам, засолено 1-3 млн. га земель (UNEP, 1997).

2.2. Закисление почвы

Закисление - наиболее распространенный тип загрязнения почвы в Западной, Центральной и Восточной Европе, где загрязнены большие территории, особенно в Польше (10 млн. га, с учетом естественного закисления) и на Украине (ок. 11 млн. га сельскохозяйственных угодий) (ЕЕА, 2003).

Азот является опасным загрязнителем и поступает в окружающую среду из трех типов диффузных источников: (1) в результате внесения навоза (органического) в пахотные земли и на пастбища; (2) использования синтетических удобрений в сельском хозяйстве; (3) атмосферного выпадения NO_x и NH_y техногенного происхождения.

Оксид углерода, окислы азота и серы выбрасываются в атмосферу при разложении органического вещества и при сжигании ископаемого топлива. Выпадения окислов серы составляют на значительных территориях Северной Америки, западной и центральной Европы и в восточном Китае 10-100 кг / га/ год. Выпадения окислов азота превышают 50 кг/ га/ год в центральной Европе.

В результате рН дождевой воды может снижаться до 3,0-4,5. Если буферная емкость почвы низкая, то дождевые воды закисляют ручьи и озера, что часто сопровождается ростом растворимости алюминия и тяжелых металлов. С 1800 г. значения рН почвы упали на 0,5-1,5

ед. во многих частях Европы и на востоке Северной Америки. К 2100 г. предполагается снижение рН еще на единицу (Svedrup et al., 2005).

В случаях, когда почва и осадочные породы, богатые сульфидами, осушаются и разрабатываются (например, при превращении мангровых зарослей в рыбные пруды или при урбанизации), содержащаяся в сульфидах серная кислота приводит к снижению рН до 2,5 ед., что приводит к активации алюминия, тяжелых металлов и мышьяка, которые выщелачиваются в водную среду, вызывая существенное снижение биоразнообразия (Mensvoort, Dent, 1997).

Незначительное количество азота в атмосферном воздухе становится доступным для растений в результате природной фиксации некоторыми видами растений (бобовыми), и промышленного внесения азотных удобрений с начала XX в. В Европе 70-75% азота вносится с синтетическими азотными удобрениями, в мире - примерно 50%. Однако усваивается примерно половина внесенного азота, остальная часть выщелачивается в поверхностные и грунтовые воды или рассеивается в атмосфере. Потери азота из навоза составляют 30-40%, причем половина этого количества улетучивается в виде аммиака. Ежегодные выбросы азота в атмосферу при сжигании ископаемого топлива составляют 25 млн.т. (Fowler et al., 2004).

Общее поступление азота в сельскохозяйственные почвы относительно велико (> 170 кг/га) в Нидерландах, Бельгии, Германии, Дании, Великобритании и некоторых районах Франции, Италии и Греции. В Центральной Англии, странах Бенилюкса, Германии и части северной Италии выпадение атмосферного азота может достигать 24 кг/га/год.

В северо-западном и южном регионах ЕС величина поступления азота ниже 8 кг/га/год. В целом количество атмосферного азота, которое выпадает на почву, составляет 10% от общего количества азота, вносимого с навозом и удобрениями. В лесах и ненарушенных экосистемах, атмосферный азот имеет исключительно техногенное происхождение. Он может представлять серьезную угрозу, в частности, для олиготрофных экосистем.

Исследования выщелачивания азота показывают, что загрязнение грунтовых вод нитратами в результате использования современных сельскохозяйственных технологий, происходит, по крайней мере, в 9 странах ЕС. На 43% территории концентрации нитратов составляют 25-50 мг/л. На 25% территории уровни нитратов превышают 50 мг/л. Наибольшие проблемы наблюдаются в северо-восточной Европе (Франция, Англия, Бельгия, Нидерланды, Северная Германия и Дания). Это может быть следствием существенного добавления собственного (регионального) азота, высокой чувствительности почвы или комбинации этих двух факторов (Бутовский, 2004).

2.3. Химическое загрязнение почвы

Химические соединения используются повсеместно, включая промышленное производство, энергетику, транспорт, сельское хозяйство, медицинские препараты, моющие средства и системы охлаждения. Более 50 тыс. соединений используются в коммерческих целях, сотни синтезируются ежегодно и глобальное химическое производство в ближайшие 20 лет возрастет на 85%. Производство и использование химических соединений не всегда сопровождается адекватными мерами безопасности. Побочные продукты производства и распада химических соединений часто загрязняют окружающую среду.

Почва подвергается воздействию большого спектра химических соединений, поступающих из различных источников. В числе этих соединений находятся стойкие органические загрязнители (СОЗ), такие как ДДТ, а также полиароматические углеводороды (ПАУ), тяжелые металлы и оксиды азота и серы (Assessment, 2010).

2.3.1. Тяжелые металлы (ТМ) в почвах

Кадмий, свинец и ртуть представляют наибольшую опасность здоровью человека среди тяжелых металлов (ТМ) из-за высокой токсичности.

Выбросы в атмосферу ТМ в Европейском регионе снижаются, причем выбросы в 1995 г. составили половину от выбросов 1990 г. и снизились на 40% к 1999 г. В абсолютных показателях выбросы свинца, ртути и кадмия в 1999 г. снизились до 17000, 200 и 400 т/год (ЕМЕР, 2002).

Загрязнение ТМ наземных экосистем из диффузных источников, в основном, вызвано атмосферными выпадениями (табл. 2.3). Существенными источниками поступления тяжелых металлов на сельскохозяйственные поля являются удобрения, навоз, иловые осадки и металлосодержащие пестициды. В сельских регионах, где ведется охота, дробь локально увеличивает загрязнение свинцом и ртутью.

Высокое локальное загрязнение тяжелыми металлами почв отмечено на Украине (ок. 5 млн. га, в основном вокруг промышленных зон) и в Литве (ок. 3 млн. га). В то же время относительно высокие концентрации металлов в почвах Литвы частично объясняются повышенными фоновыми концентрациями (ЕЕА, 2003).

В случае, если почва обладает высокой связывающей способностью по отношению к ТМ, концентрации металлов в почвенном растворе остаются низкими в течение десятилетий или даже веков до тех пор, пока связывающая способность не будет исчерпана. При переходе ТМ в неактивное состояние, они перестают взаимодействовать с элементами экосистемы, поскольку являются относительно недоступными. Изменение режима землепользования может снизить связывающую способность почв и металлы, поглощенные почвой, могут высвободиться. Небольшое снижение связывающей способности может иметь значительное влияние на концентрацию металлов в почвенном растворе и, таким образом, на доступность металлов для биоты (биодоступность). Таким образом, может накопиться значительное количество металлов, которые образуют так называемую «химическую бомбу замедленного действия» (Stigliani et al., 1991).

Например, установлено, что общая нагрузка кадмия на экосистемы в сельскохозяйственных почвах складывается из атмосферных выпадений и нагрузки, связанной с использованием удобрений, навоза, иловых осадков и пестицидов, содержащих кадмий. В Европе ежегодное атмосферное выпадение кадмия варьируется от менее, чем 0,1 г/га на территориях, где промышленность не развита (северная Скандинавия, южная Италия, Испания и Греция) до более, чем 2,4 г/га в промышленно развитых регионах (Рурский бассейн, центральная Польша, регион Кантабрия в северной Испании). Атмосферное выпадение может быть выше на природных территориях, чем на сельскохозяйственных территориях. Основным источником поступления кадмия в сельскохозяйственную почву являются удобрения и навоз. В связи со значительными объемами вносимых удобрений, поступление кадмия на пахотных землях выше, чем на пастбищах. Средняя нагрузка кадмием для стран ЕС варьируется от 0,6-0,8 г/га для пастбищ и от 4,4-8,5 г/га для пахотных земель (Fraters, 1993).

Для расчета качественных и количественных рисков были классифицированы типы почв и нагрузка кадмия (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Качественная и количественная оценка риска загрязнения кадмием грунтовых вод и его накопления в верхних слоях почвы (Koshiek et al., 1994)

Уровень нагрузки кадмия (г/га)	Тип почвы		
	Кислые почвы, бедные гумусом	Слегка кислые почвы и кислые почвы, богатые гумусом	Нейтральные и щелочные почвы, органические слабо кислые почвы

	Грунтовые воды (мкг/л)	Накопление за 100 лет (как процент от нынешнего содержания)	
Низкий <2,5	Нет риска <1	Нет риска <1	Нет риска <1
Средний 2,5-5	Доступный 1-2	Слабое накопление 1-10	Среднее накопление 10-25
Высокое >5	Доступный >2	Среднее накопление 10-25	Высокое накопление >25

2.3.2. Стойкие химические загрязнители (СОЗ) в почвах

СОЗ - группа химических соединений, применение которых регулируется международными соглашениями с целью снизить объемы их применения и поступление в окружающую среду. UNECE (1998) относит 16 соединений к СОЗ, а Стокгольмская конвенция по СОЗ (2001) - 12. Производство, применение и импорт 11 СОЗ уже запрещен законодательством ЕС. К 16 СОЗ соединениям относятся: алдрин*, хлордан*, [хлордекон*], ДДТ*, дилдрин*, эндрин*, гептахлор*, гексахлорбензен (ГХБ*), [гексахлорциклогексан (ГХЦГ)], мирекс*, токсафен*, полихлорированные бифенилы (ПХБ*), [гексабромированные бифенилы (ГББ)], полихлорированные дибензодиоксины и близкие к ним фураны – известные в целом как диоксины – и [полиароматические углеводороды (ПАУ)]. Не внесенные в скобки соединения рассматриваются Стокгольмской конвенцией как СОЗ, а отмеченные звездочкой – как запрещенные к импорту в ЕС.

Стойкие химические загрязнители (СОЗ) поступают в окружающую среду в результате применения пестицидов, таких как линдан или ДДТ, или побочные продукты других промышленных процессов, в т.ч. диоксины, полиароматические углеводороды (ПАУ), гексахлорбензен (ГХБ) и т.д. Трансграничный перенос СОЗ означает, что они представляют угрозу окружающей среде не только в стране, но также и географически удаленных странах. Например, остаточные количества глобального применения СОЗ обнаружены во многих удаленных точках планеты - Арктике и Балтике и других территориях, несмотря на то, что они никогда не применялись в этих регионах (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Источники происхождения и применение СОЗ и тяжелых металлов
(Swedish EPA, 1993) (с сокращениями)

Сокращенное название	Тип химического соединения	Использование/источники
АХБ	Алкилированные хлор-бифенилы	Заменители ПХБ
ХП	Хлорированные парафины	C ₁₀ -C ₃₀ алканы с 30-70% содержанием хлора, используются в производстве полимеров, жидкостях для металлургической промышленности, замедлителях горения, добавках к краскам
Циклодиены	Алдрин, эндрин, дилдрин, эндосульфат, хлордан, гептахлор	Пестициды
ДДЭ	4,4-дихлор-дифенил-дихлорэтен	Продукт распада ДДТ

ДДТ	4,4-дихлор-дифенил-трихлорэтан	Инсектицид (применяется в тропических странах)
ГАВ	Галогенированные алифатические вещества	Летучие галогенированные растворители, такие как три- и тетрахлорэтилен и этилен дихлорид
ГХБ	Гексахлорбензен	Изначально применялся как фунгицид, также побочный продукт сгорания
ГХГ	Гексахлоргексаны	Применяется как инсектицид. Некоторые стойкие изомеры включают линдан (гамма изомер)
ТМ	Тяжелые металлы	Большое количество потенциальных источников загрязнения, в т.ч. побочные продукты сгорания, промышленных циклов, осадков сточных вод, аккумуляторов, красок, цинк и кадмий – износа автомобильных покрышек, ртуть - зубной амальгамы, никель – дизельного топлива, кадмий – фосфатных удобрений, мышьяк, медь и хром – соединений, используемых для защиты древесины
НФ	Нонифенол	Стойкий промежуточный продукт распада нони-фенольных этоксилатов используются как детергенты и добавки к латексу и пластику
ОМС	Органо-металлические соединения	В основном соединения ртути, меди и олова; ртуть в красках; протравители семян; анти-гололедные соединения; свинец в топливе; олово в дезодорантах
ПАС	Полициклические ароматические соединения	Гетероциклические ароматические вещества, производные ПАУ (такие как нитро-, хлоро- и бром-ПАУ)
ЭФК краски	Эфиры фталевой кислоты (фталаты)	Пластифицирующие вещества (в т.ч. ПВХ – поливинилхлорид); добавки, отбеливающие, косметика, смазки
ПАУ	Полициклические ароматические углеводороды	Сырая нефть; побочные продукты неполного сгорания топлива и древесины; креозота, содержащегося в пропиточных веществах
ПББ/ПБДЭ	Полибромированные бифенил/дифенил эфиры	Промежуточные продукты в химической промышленности; бромированные замедлители горения
ПХБ	Полихлорированные бифенилы (и продукты их распада)	Более 200 соединений (но не все из них обнаруживаются в технических продуктах или окружающей среде); изолирующая жидкость в транс-

		форматорах, кабелях, пластиках; добавки к маслам и краскам; гидравлическим жидкостям; побочный продукт сгорания
ПХК	Полихлорированные камфены	Пестициды, такие как токсафен, кампехлор
ПХДД/Ф	Полихлорированные дибензо-р-диоксины/дибензофураны, для простоты именуемые как «диоксины»	Более 200 веществ; в основном побочных продуктов сгорания и других химических процессов, таких как полное сжигание отходов; отбеливания бумажной массы и очистка металлов; как загрязнители ПХБ, ПХФ, масел и хлорированных фенольных гербицидов; загрязнители отходов; отбеливание бумажной массы
ПХДЭ	Полихлорированные дифенилэфиры	Побочные продукты производства ПХФ; заместители ПХБ; добавки к пестицидам
ПХН	Полихлорированные нафталины	Наполняющая жидкость в аккумуляторах, замедление горения пламени; добавочные вещества к маслам; вещества для пропитки древесины; пестициды; побочные продукты сгорания
ПХФ	Пентахлорфенол	Фунгициды, бактерициды, средства для пропитки древесины
ПХС	Полихлорированные стирены	Побочные продукты химических процессов
ПХТ	Полихлорированные терфенилы	Заменители ПХБ

Содержание некоторых приоритетных СОЗ в окружающей среде снижалось в последние десятилетия в связи с законодательным ограничением производства и применения.

2.3.3. Пестициды в почвах

Площадь земель, используемых сельским хозяйством, например, в странах-членах ЕС, составляет 57% от общей площади стран, которая составляет примерно 226 млн. га, причем 52% возделываемых площадей являются пахотными, а 37% используются под пастбища. Примерно 10% площадей занято плодовыми и овощными культурами, а также виноградниками. Хотя вклад сельскохозяйственного производства в ВВП некоторых стран упал в относительных показателях, продуктивность в абсолютных показателях существенно увеличилась, прежде всего благодаря технологическим достижениям, в том числе росту интенсивности механизации и использованию удобрений и пестицидов.

ЕС является крупнейшим потребителем пестицидов в мире (табл. 2.5, 2.6) (Koshiek et al., 1994).

В целом нагрузка пестицидов была меньше на полях, занятых травами и фуражной зеленью и составляла 1 кг/га. Нагрузки в диапазоне от 1 до 5 кг/га были характерными для фуражной кукурузы, зерновых и масличных культур. Пестициды в высоких дозах применялись

для обработки винограда, овощных и плодовых культур, цветочных луковиц, картофеля и сахарной свеклы.

Таблица 2.5

Общие продажи пестицидов в 10 странах ЕС (в т. активно действующего вещества, АДВ) (Koshiek et al., 1994)

Страны	Дезинфектанты*	Фунгициды	Гербициды	Инсектициды
Бельгия	900	2160	4770	360
Дания	76	1555	4506	289
Франция	4807	49775	36075	6657
Германия	Нет данных	10151	14756	4558
Греция	640	10384	3411	2818
Италия	Нет данных	27934	9234	3941
Нидерланды	9830	4063	3271	1554
Португалия	Нет данных	21288	1055	587
Испания	4518	33496	6360	2643
Великобритания	76	5522	19625	690

* Протравители семян, средства обработки посадочного материала и т.д.

Таблица 2.6

Средняя величина нагрузки пестицидов на различных культурах во Франции (АДВ, кг/га) (Koshiek et al., 1994)

Культура	Дезинфектанты	Фунгициды	Гербициды	Инсектициды
Плодовые	нет данных	Нет данных	Нет данных	1,12
Овощи	нет данных	4,50	1,19	0,42
Зерновые	0	0,36	1,07	0,17
Масличные	0	0,52	2,51	0,67
Картофель	0	1,97	0,94	0,14
Сахарная свекла	0,14	2,20	6,26	0,37
Кукуруза	0	нет данных	2,69	0,53
Виноград	2,67	39,1	2,81	0,48

Примечание: Расчет был сделан исходя из средней величины использования дезинфектантов, фунгицидов, гербицидов и инсектицидов на основных культурах

Пестициды могут попадать в окружающую среду в результате сноса с полей и испарения во время и после применения. Количественные данные о веществах, попадающих в атмосферу, однако, весьма фрагментарны.

Всемирная Организация Здравоохранения считает, что каждый год 3 млн. людей страдает от отравления пестицидами, а 20 тыс. погибает (Worldwatch Institute, 2002).

Разрушительность воздействия пестицидов на почвенные экосистемы зависит от их химических свойств. Стойкость пестицидов в почве может сильно варьироваться: от нескольких часов (например, фумиганты, нематоды) до десятилетий (хлорорганические). Их токсичность может влиять на одну группу или на широкий спектр организмов. Некоторые пестициды могут накапливаться и концентрироваться в телах почвенных организмов и передаваться по трофическим цепям.

После попадания пестицидов в окружающую среду они претерпевают ряд превращений в результате распада (разложения), сорбции, накопления растениями и миграций. Эти

процессы в значительной степени определяют выщелачивание пестицидов и их миграцию в грунтовые воды. В 65% стран из пятнадцати - членов Евросоюза (ЕС), например, концентрации пестицидов в питьевой воде превышают принятые стандарты качества (Koshiek et al., 1994)

Загрязнение пестицидами распространено на Украине (более 5 млн. га) и в Румынии (более 4 млн. га), где уровень загрязнения считается слабым или умеренным (ЕЕА, 2003).

Химические отходы от промышленности и сельского хозяйства могут быть источником загрязнения, особенно в развивающихся странах и странах переходного периода. В Африке были обнаружены огромные запасы пестицидов (до 30 тыс. т.) , срок действия которых истек 40 лет назад и которые давно запрещены в Европейских странах.

Загрязнение заброшенных промышленных и урбанизированных территорий является проблемой в США, Европе и странах бывшего СССР. В Европе может насчитываться до 2 млн. подобных захоронений, содержащих тяжелые металлы, цианид, отходы масел и хлорированные углеводороды, причем 100 тыс. требуют немедленной очистки (ЕЕА, 2005).

Интерес представляет расчетная оценка запасов пестицидов в Европе с истекшим сроком годности, которые могут представлять угрозу окружающей среде (табл. 2.7).

Пестициды обладают разнообразными механизмами действия (Зеленин, 2000).

Наиболее опасные хлорорганические пестициды (многие из них относятся к СОЗ) обладают кумулятивным токсическим эффектом - накапливаются в жировых тканях. Они реагируют с аминокеттогруппами белков и нуклеиновых кислот, вызывая их необратимое поражение. С конца 40-х годов началось производство пестицидов дриновой группы, являющихся полихлорированными циклодиенами или их производными (алдрин, гептахлор, хлорден, изоэдрин). Увеличение изменчивости привело к росту числа устойчивых (резистентных) к действию хлорорганических пестицидов видов насекомых-вредителей.

Таблица 2.7

Расчетные запасы пестицидов с истекшим сроком годности в Центральной и Восточной Европе и странах СНГ (ИПРА, 2001)

Страна	Производство и расчетные выбросы в тоннах	Проблемы, связанные с загрязнением почвы и воды
Албания	Территории, где ранее производили линдан	
Азербайджан	20 000	
Армения	Недостаточно информации, но известно, что имеются запасы пестицидов с истекшим сроком действия	
Белоруссия	6 000	
Босния-Герцеговина	Нет данных	
Болгария	4 000	
Хорватия	Некоторые расчеты имеются	
Чехия	Основные запасы пестицидов с истекшим сроком годности были уничтожены в начале 1990х гг. Инвентаризация и контроль осуществляются через законодательные механизмы	
Эстония	700	
Восточная Германия	Ок. 100 000	Крупномасштабное за-

(предыдущая)		грязнение ГХЦГ и ДДТ
Грузия	2 000	
Венгрия	Инвентаризация необходима и начинается пилотный проект	49000 т в почве
Казахстан	Территории в западном Казахстане, восточном Казахстане в Акмолинске	Значительное диффузное загрязнение почвы, аэродромы для сельскохозяйственной авиации
Кыргызстан	171	Крупномасштабное загрязнение почвы
Латвия	2000	
Литва	3280	3500 т загрязненной почвы
Македония	33000-38000. Ранее производился линдан	
Молдавия	6600	
Польша	50000-60000. Большое количество ядовитых веществ в бункерах, расположенных на заводских территориях	Прямая утечка из бункеров в окружающую почву и угроза грунтовым водам
Румыния	1030	Большие химические заводы в Бакау, Рамницу, Вальцеф, Крайова, Питешти и Турда традиционно производили пестициды в значительных количествах
Россия	17000-20000. Ранее производились на 23 заводах.	
Словения	300-400	
Словакия	Инвентаризация необходима и начинается пилотный проект	
Таджикистан		Значительные территории загрязнения почвы в бассейнах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи
Туркменистан	1671	
Украина	15000	Значительное региональное загрязнение почв
Узбекистан	10000-12000	Значительное диффузное загрязнение почвы в окрестностях Ферганы, Андижана и Хорезма.

Одним из источников загрязнения водных экосистем служат целлюлозно-бумажные комбинаты, применяющие хлор для отбеливания целлюлозы. Значительные количества хлорорганических соединений поступают в газовую фазу при сжигании и пиролизе бытовых от-

ходов. Особую опасность представляют содержащиеся в летучей золе полихлорированные дибензо-п-диоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ).

Множественность клеточных мишеней для диоксинов и подобных веществ определяет широкий спектр токсических эффектов – от эмбриотоксических до канцерогенных (Зеленин, 2000).

3. Биологическое загрязнение почвы

С момента первого широкомасштабного выращивания трансгенных, устойчивых к насекомым-вредителям посевов в 1996 г., общая площадь трансгенных культур к 2004 г. выросла в 47 раз (с 1,7 млн. га до 81,0 млн. га) (James, 2003). На первом месте находятся культуры, устойчивые к гербицидам, на втором – устойчивые к насекомым-вредителям, вызванные *Bacillus thuringiensis*. Основные генно-модифицированные культуры – соя, кукуруза и хлопчатник. Среди овощных культур на рынке преобладают томаты с удлинённым периодом созревания и картофель, устойчивый к насекомым-вредителям и вирусам (Assessment, 2010).

В последние годы были получены трансгенные культуры, устойчивые к абиотическим факторам, и производящие различные протеины и ферменты фармацевтического и промышленного назначения.

Генно-модифицированные растения могут рассматриваться как источник загрязнения для почвы и почвенных организмов, поскольку они способны оказывать косвенное влияние на их биоразнообразие, и способствовать развитию генетической устойчивости целевых видов-вредителей (Eastham, Sweet, 2002).

Большинство исследований в этой области было проведено на *Bacillus thuringiensis* (BT) (Icoz, Stotzky, 2008). Модификации этой бактерии в основном связаны с резистентностью целевых насекомых, а ее воздействие на почвенные организмы признается побочным и несущественным.

Литература

Бутовский Р.О. Проблемы химического загрязнения почв и грунтовых вод в странах Европейского Союза // Агрехимия. 2004. Т 3. 74-81.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2007 г.». МПРЭ. АНО «Центр международных проектов». 2008.

Зеленин К.Н. Что такое химическая экотоксикология. 2000. Химия. <http://www.pereplet.ru/obrazovanit/stsoros/1033.html>

Медведева О.Ю. Проблемы устойчивого землепользования в России. М.: Институт устойчивого развития/ Центр экологической политики России. 2009. – 104 с.

Экологическая безопасность России. Вып. 1. Мат-лы Межведомственной комиссии по экологической безопасности (октябрь 1993 – июль 1999 г.). М.: Юрид. лит. 1995. 224 с.

Assessment of soil biodiversity policy instruments in EU-27. Final report, February 2010. *European Commission DG ENV. Bio Intelligence Service*. 232 pp.

Eastham K., Sweet J. 2002. Genetically modified organisms (GMOs): the significance of gene flow through pollen transfer, 28. EEA.

EEA. 2005. EEA core set of indicators – Guide. European Environmental Agency.

EMEP. 2002. Reporting under UNECE Convention on long-range transboundary air pollution. www.emep.int

European Environmental Agency. Europe's water: an indicator-based assessment Summary. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 2003. 24 pp.

Fowler, D.; O'Donoghue, M.; Muller, J. B. A.; Smith, R. I.; Dragosits, U.; Skiba, U.; Sutton, M. A.; Brimblecombe, P.. 2004 A chronology of nitrogen deposition in the UK between 1900 and 2000. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 4 (6). 9-23.

- Fraters D., van Beurden A.U.J.C. Cadmium mobility and accumulation in soils of the European Communities. RIVM report. 1993. N 481505005.
- Icoz I., Stotzky G. 2008. Fate and effects of insect-resistant Bt crops in soil ecosystems // Soil Biology and Biochemistry. V 40. P. 559-586.
- IHPA (International HCH and Pesticides Association). Technical summary of sessions // Proceedings of 6th International HCH and Pesticides Forum, 20-22 March, 2001, Poznan, Poland. 2001.
- James C. 2003. Global review of commercialized transgenic crops. Current Science. V 84. P. 303-309.
- Jones C.V., Lawton J.H., Shachak M. 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. Ecology. V 78. P. 1946-1957.
- Kirkby M.J., Jones R.J.A., Irvine B. et al. 2004. Pan-European Soil Erosion risk assessment: The PESERA map. Version explanation of special publication 73. Ispra. Office for official publications of the European Communities, Luxembourg.
- Kohsiek L.H.M., Fraters D., Franken R. et al. The pollution of soils and groundwater in the European Community / Ecotoxicology of soil organisms (M.H. Donker, H. Eijsackers, F. Heimbach eds.). Lewis Publ. 1994. P. 35-69.
- Lal R. 2005. Forest soils and carbon sequestration // Forest ecology and management. V 220. P. 242-258.
- Mucher C.A., Champeaux J.L., Steinnocher K.T., Griguolo S., Wester K., Heunks C., Winiwater W., Kressler F.P., Goutorbe J.P., ten Brink B., van Katwijk V.F., Furberg O., Perdigao V., Nieuwenhuis G.J.A. Development of a consistent methodology to derive land cover information on a European scale from remote sensing for environmental monitoring. The PELCOM report. Alterra-report 178. CGI-report 6. Alterra, Green Worlds Research, Wageningen, 2001. 159 pp.
- Myers N. 1993. Gaia: an atlas of planet management. Garden City. New York.
- State of the World 2002. Worldwatch Institute. January 2002. ISBN: 0-393-32279-3. 265 pp.
- Stigliani W.M., Doelman P., Salomons W., Schulin R., Smidt G.R.B., van der Zee, S.E.A.T.M. Chemical time bombs: predicting the unpredictable // Environmental. 1991. V 33. P. 26.
- Sverdrup H, Martinson L, Alveteg M, Moldan F, Kronnäs V, Munthe J, 2005. Modeling recovery of Swedish ecosystems from acidification. *Ambio* 34(1), 25–31
- Swedish EPA. Persistent organic pollutants and the environment. The environment in Sweden: status and trends. 1993. Solna. Sweden.
- UNEP. Global Environmental Outlook. Oxford University Press. 1997. Oxford.
- Van Mensvoort, M.E.F. and Dent, D.L. 1998 Acid sulphate soil. In Lal, R., Blum, W.H., Valentine, C. and Stewart, B.A. (eds) Method for Assessment of Soil Degradation. Pp.301 – 335. CRC press LLC, Boca Raton. Florida