

УДК: 574.23

DOI 10.36305/2712-7788-2022-3-164-29-42

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ, СОСТОЯНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ (обзор)

Максим Леонидович Новицкий, Мария Васильевна Азиатцева

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, г. Ялта
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт. Никита
E-mail: maxim.novickiy@bk.ru

В статье приведен литературный обзор по интенсивности накопления твердых коммунальных отходов (ТКО) и их рекультивации как за рубежом, так и в нашей стране. Основной экологической проблемой в мире является размещение отходов на свалках и полигонах, оказывающих негативное влияние на окружающую среду. С каждым годом увеличиваются земельные площади, на которых размещаются отходы. В связи с необходимостью возвращения нарушенных земель в хозяйственный оборот проводится рекультивация полигонов ТКО, включающая в себя два этапа: технический и биологический. Основными существующими направлениями рекультивации полигонов ТКО и свалок являются сельскохозяйственное (создание пашен, сенокосов, пастбищ), лесохозяйственное, рекреационное и строительное. Технический этап рекультивации полигонов ТКО проводится с целью защиты почв, водных ресурсов, атмосферного воздуха, близлежащих территорий от воздействия свалочного тела путем создания рекультивационного покрытия. Биологический этап рекультивации сводится к необходимости преодоления или сведения к минимуму неблагоприятных экологических условий за счет улучшения всеми доступными способами свойств субстрата, а также подбора подходящего для этих условий ассортимента древесных и травянистых видов растений.

Ключевые слова: *рекультивация; полигоны твёрдых коммунальных отходов; свалка; восстановление нарушенных земель; биологический этап; рекультивация*

С экологической точки зрения любое преобразование недр или поверхности земли сопровождается трансформацией или формированием новых техногенных местообитаний (техногенных ландшафтов), экологическое состояние которых определяется главным образом качеством слагающих их пород и формой поверхности (Опанасенко и др., 2000, 2002, 2005; Андроханов, Курачев, 2009; Плугатарь, Корженевский, 2015; Плугатарь и др., 2021). На наш взгляд, к таким техногенным преобразованиям ландшафтов можно отнести и полигоны ТКО.

Ежегодно в мире образуется 2,01 миллиарда тонн твердых бытовых отходов и, по меньшей мере, 33% из них не утилизируются экологически безопасными способами. Во всем мире на одного человека в день приходится в среднем 0,74 кг отходов, причем эта цифра колеблется в широких пределах – от 0,11 до 4,54 кг. Сбор отходов является важнейшим шагом в системе управления отходами и в значительной степени зависит от уровня дохода населения. При этом страны с доходом выше среднего и высоким обеспечивают почти 100% сбор отходов. Страны с низким уровнем дохода собирают около 48% отходов в городах, но эта доля резко снижается до 26% за пределами городских районов. Страны Африки к югу от Сахары собирают около 44% отходов, в то время как Европа, Центральная Азия и Северная Америка собирают не менее 90% ТКО (Burlakovs *et al.*, 2013; Kaza *et al.*, 2018; Трубин, 2019; El-Hoz, 2019; Турсуналиев, 2019; Zaulfikar *et al.*, 2020).

Управление отходами является одной из самых распространенных экологических проблем в мире. Складирование на свалках и полигонах – наиболее распространенный метод размещения ТКО.

Полигоны – это комплекс природоохранительных сооружений, предназначенных для складирования, изоляции и обезвреживания ТКО, обеспечивающий защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующий распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов (Kaza *et al.*, 2018). Свалка – это территория, на которой размещаются отходы производства и потребления. Территории для размещения таких отходов, разрешенные местными органами власти, называются санкционированными свалками. Такие свалки в отличие от полигонов ТБО не обустроены и, как правило, используются с отклонениями от требований санитарно-эпидемиологического надзора, а отходы свалок не предполагается использовать в течение обозримого срока. К категории несанкционированных свалок относятся территории используемые, но не предназначенные для размещения ТБО.

Отходы, размещенные на свалках и полигонах, оказывают негативное влияние на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный покров, растения, расположенные вблизи свалок. Также такие объекты привлекают к себе большое количество насекомых, грызунов и бродячих животных (Луцевич, 2014; Мамаджанов, 2015, 2016; Санина, 2020).

В результате происходящих в толще свалки процессов сбраживания, гумификации органического вещества, деполимеризации, сульфатредукции и других процессов образуется уникальный по своей токсичности раствор – свалочный фильтрат, минерализация которого достигает нескольких десятков граммов на литр. Фильтрат характеризуется высокими концентрациями тяжелых металлов, а также ионов хлора и аммония и способен в результате своей миграции с поверхностным стоком, внутрисочвенным перемещением влаги значительно загрязнять породы основания свалки и грунтовые воды. Помимо фильтрата в теле свалки ТБО образуется свалочный газ, или биогаз, – экологически опасная смесь метана, сероводорода, меркаптана и других газов. Он загрязняет атмосферный воздух и достаточно часто загорается, вызывая пожары на свалках, которые сопровождаются образованием токсичных продуктов горения отходов и компонентов биогаза (Пронько и др., 2017).

Анализ практики складирования твердых коммунальных отходов (ТКО) свидетельствует о том, что объекты захоронения и полигоны ТКО являются источниками длительного негативного воздействия на окружающую среду. Известно, что не только несанкционированные свалки, но и полигоны могут создавать опасность загрязнения окружающей среды (Рудакова и др., 2015; Санина, 2020; Артёмова и др., 2020). Поэтому в соответствии с действующей на территории Российской Федерации нормативной базой завершающим этапом эксплуатации полигонов, направленным на обеспечение санитарных и экологических требований, является рекультивация. Согласно ГОСТ 17.5.1.01-835 рекультивация закрытых полигонов представляет собой комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества.

На сегодняшний день огромные земельные площади не только в РФ, но и во всем мире заняты под объекты хранения и захоронения отходов. К примеру, по данным, приведенным на официальном сайте Счетной палаты Российской Федерации (<https://ach.gov.ru>), россияне ежегодно производят порядка 90 миллиардов тонн отходов, которые занимают территорию площадью в 4 млн. гектаров. С каждым годом объем отходов только увеличивается, для их хранения и захоронения отчуждаются все новые и новые территории. Площадь свалок и полигонов для захоронения отходов ежегодно увеличивается на 2,5-4%. Переработке подвергается менее 10% твердых коммунальных отходов. В результате практически все эти отходы размещаются на

специализированных полигонах, санкционированных (а порой и несанкционированных) свалках (Аржанцева, 2018).

Полигоны ТКО представляют собой техногенные объекты. После окончания эксплуатации они продолжительное время могут оказывать негативное воздействие на окружающую природную среду. К сожалению, подавляющее большинство объектов размещения коммунальных отходов в Российской Федерации не отвечают данному определению, правильнее их классифицировать как свалки (Титов, 2018). Поэтому в соответствии с действующей нормативно-правовой базой Российской Федерации, после завершения эксплуатации полигонов (свалок) ТКО необходима их рекультивация, то есть комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности этих территорий, а также на улучшение окружающей среды.

Средний годовой объем образования твердых коммунальных отходов в Крыму – более 7 млн. м³. В Республике Крым функционируют 28 полигонов ТКО, из которых в Госреестр объектов размещения отходов включен только 1 полигон в селе Тургенево Белогорского района. В каждом поселении Крыма имеется от одного до трех закрытых и не эксплуатируемых полигона (свалки), которые занимают площадь от 1 до 20 га в зависимости от срока функционирования объекта, объемов отходов и величины населенного пункта. Рациональное использование земель поселений требует рекультивации закрытых полигонов и свалок с возвращением земельных участков в полноценный хозяйственный оборот (Корженевский, 2001; Клименко и др., 2018).

Выбор направления рекультивации выполняется с учетом природно-климатических факторов, рельефа, преобладающей растительности, гидрологических, почвенных и других особенностей региона (Новицкий, Опанасенко, 2014; Новицкий, Плугатарь, 2019). Основными существующими направлениями рекультивации полигонов ТКО и свалок являются сельскохозяйственное (создание пашен, сенокосов, пастбищ), лесохозяйственное, рекреационное и строительное.

Рекультивация включает в себя два этапа: технический и биологический. В соответствии с нормативными документами, технический этап рекультивации включает формирование откосов с нормативными углами наклонов, строительство дренажных систем, дегазацию, планировку поверхности с созданием рекультивационного многофункционального покрытия и другие операции. В литературе, посвященной проблемам рекультивации нарушенных земель, технологии формирования эдафических условий принято называть горно-техническим этапом рекультивации. Этот этап не только технологически сложный, но и, что значительно важнее, очень дорогой. Делается всё возможное, чтобы либо вообще обойтись без него, либо свести его к минимуму, что в случае с рекультивацией ТКО невозможно. Недооценка экологической значимости роли качества эдафических условий, создаваемых на горно-техническом этапе рекультивации, является главной причиной очень низкой наукоёмкости проектов рекультивации, а также низкой экологической эффективности рекультивационных мероприятий, реализуемых в Крыму.

Биологический этап, включающий комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направлен на восстановление нарушенных земель. В биологический этап входят следующие работы:

- подготовка почвы под газоны;
- подбор ассортимента посадочного материала;
- посев и уход за растениями.

При формировании плодородного слоя появляется проблема экологического и экономического характера – дефицит почвогрунтовых ресурсов для создания рекультивационных покрытий. С целью экономии природных ресурсов при проведении

рекультивационных работ почва может быть заменена органогенными субстратами из компоста ТКО, осадка сточных вод или из кофейного жмыха (Фомина 2012; Hogland *et al.*, 2014; Теплякова и др., 2014; Слюсарь, 2016; Сорока и др., 2018; Плугатарь и др., 2020).

Одной из наиболее важных работ биологического этапа является подбор ассортимента многолетних трав, который наряду с другими мероприятиями обеспечивает наиболее активное зарастание рекультивируемой поверхности и формирование экологически безопасных экосистем на территории бывшего полигона ТКО (Тимофеев, 2011; Мамаджанов, 2015; Малюхин и др., 2018).

Учёными Никитского сада был предложен вариант биологической рекультивации таких свалок (Плугатарь и др., 2021). Он заключается в том, чтобы оптимизацию антропогенных объектов решать путём правильного выбора места и эксплуатации отвала, а также приданием ему соответствующей формы и надлежащим озеленением, то есть, используя то, что называют интеграцией объекта в ландшафт. При любых обстоятельствах формированию отвала должно предшествовать снятие верхнего слоя почвы его складирование и сохранение. Важнейшей формой отвала следует считать террасированную столовую гору с крутизной 1:3 и округлением подножья осыпи. Отвалы выше 10 м террасируют с шириной уступа не менее 4 м. Чрезвычайно важно обеспечить контроль над поверхностным стоком воды путём прокладки небольших каналов на склонах и выполнить окаймление периметра полосой насаждение шириной не менее 5 м. Фитомелиоративные мероприятия на бедном субстрате следует выполнять, используя сидераты, сочетая бобовые и злаки (бобовые: клевер луговой, клевер ползучий, люцерна жёлтая, лядвенец рогатый, эспарцет песчаный и др.; злаки: ежа сборная, житняк пустынный, костёр безостый, овсяница луговая, райграс пастбищный и др.). Молодые растения авангардных деревьев и кустарников сажают по схеме размещения от 2,5 x 2,5 до 0,75 x 0,75 м. Чем сложнее природные условия, тем плотнее должна быть посадка. В качестве авангардных используют любые виды деревьев и кустарников, быстро растущих в данных условиях. Основные виды деревьев вначале сажают в количестве от 4000 до 6000 штук. Это значит, что расстояния между рядами составляют 1,5–2 м, а расстояния между растениями в ряду – от 1 до 1,5 м. Авангардные виды деревьев и кустарников размещают равномерно группами или рядами. Основные виды деревьев и кустарников размещают группами не менее чем по 10 саженцев одного вида.

Биологический этап рекультивации в большинстве случаев совершенно необходим, так как процессы самозарастания могут растянуться на несколько десятков лет. Так, Л.С. Застенским (1983) для условий Беларуси выявлено, что при формировании рекультивационного слоя из минеральных суглинистых грунтов процессы гумусообразования происходят очень медленно, и за 15 лет образуется лишь 1,5–2 см сплошного гумусового горизонта. В экстремальных условиях северных регионов эти процессы еще более затруднены, и без специальных мероприятий биологического этапа рекультивации восстановление нарушенных ландшафтов практически не происходит.

Проблема загрязнения биосферы токсичными соединениями, в том числе и тяжелыми металлами (ТМ) в настоящее время, становится очень актуальной. Хозяйственная деятельность человека (сжигание жидкого и твердого топлива; металлоплавильное производство; сбрасывание сточных вод; внесение в почву химикатов, в том числе удобрений; консервация твёрдых бытовых отходов и т.п.) приводит к загрязнению ТМ всех компонентов окружающей среды: воздуха, воды, почв. В эдафотопях тяжелые металлы находятся в разной степени доступности для растений. Водорастворимые формы ТМ, как правило, представлены хлоридами,

нитратами, сульфатами и органическими комплексными соединениями. ТМ сравнительно быстро накапливаются в почве и крайне медленно из нее выводятся: период полужизни цинка – до 500 лет, кадмия – до 1100 лет, меди – до 1500 лет, свинца – до нескольких тысяч лет. ТМ ингибируют фотосинтез, нарушают минеральное питание, тормозят рост и изменяют водный баланс и гормональный статус растений (Застенский, 1983).

Фиторемедиация – использование растений для выведения или нейтрализации загрязняющих веществ – является перспективной стратегией очистки загрязненных территорий (Киреева, Григориади, Багаутдинов, 2011). В настоящее время исследования, посвященные возможности биоремедиации загрязненных почв, становятся все более актуальными в России. Фиторемедиация не только способствует удалению из почвы загрязнителей, но и препятствует выщелачиванию почв, тем самым поддерживая или улучшая структуру почв и повышение плодородия. Этот метод можно использовать в сочетании с другими технологиями, особенно на последнем этапе ремедиации почв. Основные направления фиторемедиации: фитодеградация – катализируемая ферментами переработка загрязнителей, как правило, органического происхождения, внутри тканей растений;

фитостабилизация – использование растений, толерантных к токсичным веществам в почве для иммобилизации загрязнителей в интерфазе «корень – почва» или «корень – вода». Она ограничивает эрозию и задерживает загрязняющие вещества в верхних слоях почвы, препятствуя их проникновению в наземные и грунтовые воды. Фитостабилизация главным образом используется для загрязнителей органического происхождения и таких металлов, как Pb и Cr;

фитовозгонка – характеризуется абсорбцией элементов (Se, Hg), а затем их выделением в атмосферу в метилированной форме;

ризофилтрация – растения абсорбируют и концентрируют металлы из загрязненных вод;

фитоэкстракция – использование растений-гипераккумуляторов металлов для извлечения ТМ из почвы и их концентрирования в вегетативной массе растений (Ермохин, Киреева, 2019).

Восстановление окружающей среды при помощи растений вызывает широкий интерес во всем мире благодаря возможностям, которые открывает технология фиторемедиации – использование зеленых растений для удаления загрязнителей из пахотного слоя почв или превращения последних в безвредные соединения – для очистки верхних слоев загрязненных почв. Исследования показывают, что растения позволяют очистить окружающую среду от металлов, и фиторемедиация постепенно внедряется как природоохранная технология. Среди дикорастущих видов выделяют особую группу растений-гипераккумуляторов ТМ (около 400 видов), которые способны накапливать в побегах от 1000 до 30000 мг металла на килограмм сухой массы растения без видимых признаков повреждения (Baker, Brooks, 1989). Культивирование растений-гипераккумуляторов ТМ, на загрязненных территориях позволяет очистить почву от избытка металлов (Прасад, 2003; Pilon-Smits, 2005).

Как утверждает Маджугина Б.Г. с соавт. (2008), метод фиторемедиации не требует больших затрат, он прост в практическом осуществлении и применим в любых экологически неблагоприятных зонах. Методы фиторемедиации разрабатывают и внедряют в Болгарии, США, Великобритании, Испании, Канаде, Китае, Мексике, Новой Зеландии и других странах (Прасад, 2003). Однако внедрение этой природоохранной технологии в России в значительной степени тормозится из-за необходимости поиска растений-аккумуляторов ТМ, характерных для наших экологических условий, или использования интродуцентов. Тем не менее, работы

отечественных исследователей по аккумуляции ТМ дикорастущими и культурными растениями дают достаточные основания для поиска растений, пригодных для внедрения технологии фиторемедиации в России (Панин, 2002; Холодова и др., 2005). Для более эффективного достижения очистки от загрязнения ТМ требуется скрининг видов растений-аккумуляторов ТМ, способных не только накапливать ТМ, но и обладать интенсивным ростом, чтобы обеспечить массовый вынос металлов со скошенной массой (Salt *et al.*, 1998; Прасад, 2003).

Применение технологии фиторемедиации может оказаться весьма перспективным для обезвреживания полигонов захоронения ТБО. Следует отметить, что в нашей стране работы по биологической рекультивации таких полигонов находятся в самом начале развития и основаны в значительной степени на отечественном опыте рекультивации нарушенных земель в промышленных зонах. Почво-грунты, используемые для перекрытия отходов, не должны быть загрязнены ТМ. Однако, поскольку образуется слоистая толща, то в перекрывающие мусор грунты поступают различные токсичные вещества из ТБО, в том числе ТМ, что со временем создает опасность загрязнения ими поверхностных слоев почвы. Это препятствует при закрытии полигонов захоронения ТБО созданию на них газонов, засеваемых традиционными видами газонных трав. По этой причине при проведении рекультивационных работ рекомендуются к посеву газонные травы с высокой фиторемедиационной способностью (Маджугина, Кузнецов, Шевякова, 2008).

По информации интернет издания «Библиофонд» (<https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=133350>) на данный момент на фиторемедиацию в США тратится \$100-150 млн. в год, что составляет 0,5% всех затрат на очистку окружающей среды (для сравнения биоремедиация с использованием бактерий составляет 2%). При этом в 80% случаев растения применяются для очистки от органических поллютантов, в 20% – от неорганических. Затраты в США на фиторемедиацию за последние 5 лет выросли в 3 раза (с \$40 млн. в 1999 г.). В Европе фиторемедиация не имеет широкого применения, однако ситуация может измениться в ближайшем будущем в связи с повышением к ней интереса и быстрым ростом финансирования исследований в этой области, а также по причине наличия большого количества загрязнённых районов на территории восточно-европейских государств – членов Евросоюза. Также фиторемедиация может получить широкое применение в развивающихся странах по причине низкой стоимости и простоты применения.

Наряду с преимуществами фиторемедиация имеет ряд ограничений. Растения, производящие очистку, должны находиться в зоне загрязнения и быть способными воздействовать на поллютант. Следовательно, свойства почвы, уровень токсичности и климат должны позволять рост растений. Если почва токсична, её можно сделать более пригодной для роста растений с помощью внесения определённых почвенных добавок. Нужно также учитывать, что очистка ограничена уровнем глубины корней, так как растения должны иметь контакт с поллютантом. Корни травянистых растений обычно достигают глубины 50 см, деревьев – 3 м, хотя корни некоторых растений (особенно в аридных районах) способны достигать глубины 15 и более метров. В зависимости от вовлечённых биологических процессов фиторемедиация может занять больший период времени, чем другие методы очистки. Деградация поллютантов растениями работает довольно быстро (дни/месяцы), тогда как очистка путём аккумуляции растениями занимает годы. Также фиторемедиация может ограничиваться доступностью поллютантов растению. Биодоступность поллютантов зависит от химических свойств поллютанта, свойств почвы, условий среды, различных биологических процессов. Биодоступность поллютантов может быть увеличена путём внесения в почву определённых добавок (например, органические кислоты, понижая pH и хелатируя

катионы, делают более доступными для растения загрязняющие металлы, а сурфактанты – гидрофобные органические поллютанты). Для достижения максимальной эффективности очистки фиторемедиация может использоваться в сочетании с другими методами биоремедиации и небиологическими технологиями очистки. Например, наиболее загрязнённые части субстрата могут удаляться путём экскавации, после чего дальнейшая очистка может проводиться с помощью растений.

Одной из проблем фитоэкстракции является утилизация собранной биомассы растений, содержащей значительные количества тяжелых металлов. Некоторые авторы предлагают компостирование и прессование биомассы, что позволяет значительно уменьшить ее количество, а также затраты на транспортировку и дальнейшую переработку (Прасад, 2003). Одним из вариантов экономически эффективной переработки вегетативной массы растений, содержащей тяжелые металлы, является получение электрической и тепловой энергии при сжигании биомассы. Сжигание в закрытом пространстве позволит ограничить повторное загрязнение окружающей среды ТМ. Кроме того, возможно экстрагировать металл из полученной золы и использовать повторно (биоруда); этот метод перспективен, однако к настоящему времени недостаточно разработан. Предложен еще один метод обработки биомассы растений, содержащей металл, а именно пиролиз растительного материала в анаэробных условиях, что исключает эмиссию газа и золы в атмосферу. Исследования S. Clemens (2001) показали, что при такой обработке 99% металла концентрируется в получаемом коксе, который может быть вторично использован. Таким образом, целесообразно создавать систему фиторемедиации, где биомасса используется в качестве источника энергии, то есть происходит реутилизация ТМ из золы растений. Развитие новых технологий и методов очистки загрязненных различными поллютантами территорий необходимо для решения современных проблем охраны окружающей среды. Большой практический интерес в восстановлении сельскохозяйственной ценности техногенного загрязнения земель представляют программы и рекомендации, специально разрабатываемые для решения этой проблемы. На первом этапе рекультивации почв рекомендовано возделывать культуры, способные аккумулировать токсичные элементы, при одновременном искусственном подкислении почв путем внесения физиологически кислых удобрений ($0,001 \text{ M H}_3\text{PO}_4$ или $0,001 \text{ M HNO}_3$, две годовые нормы – до 1000 л/га). По достижении уровней загрязнения почв и сельскохозяйственных растений ниже ПДК необходим второй этап, складывающийся из применения органических и минеральных удобрений и известкования. Существует направление генетической модификации бобовых растений с развитой корневой системой для повышения накопления тяжелых металлов этими растениями (Пасынкова, 1989). Эффективность использования фиторемедиации ограничена доступностью и мобильностью тяжелых металлов в почве. Внесение химических добавок в почву, в частности ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота), является одним из эффективных способов. Показано, что добавление ЭДТА в загрязненные ТМ почвы повышает мобильность свинца и меди в почве и концентрацию их в вегетативной массе индийской горчицы. Внесение ЭДТА дает кратковременный эффект повышения мобильности элементов в течение 1 месяца. Затем внесенное количество ЭДТА может уменьшаться благодаря биodeградации, химической деградации, поглощению почвами. Кроме этого, внесение в почву ЭДТА ведет к потере питательных элементов для растений, например необходимого трехвалентного железа. Существует также риск поступления тяжелых металлов в грунтовые воды. Таким образом, применение химических реагентов для повышения доступности тяжелых металлов растениям связано с риском загрязнения окружающей среды и не всегда повышает аккумуляцию тяжелых металлов растениями. Возможное альтернативное

решение данной проблемы заключается в использовании микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности для повышения мобильности и биодоступности тяжелых металлов растениям. В частности, перспективным представляется использование бобовых растений, имеющих клубеньковые бактерии на корневой системе.

Зеленые насаждения в условиях городских свалок – это естественный круглогодичный биологический фильтр. Повысить эффективность зеленых насаждений на свалках можно за счет правильно подобранного видового ассортимента, типа посадки и с учётом свойств почв.

В совокупности все исследования в области разработки способов биологической рекультивации нарушенных земель сводятся к необходимости преодоления или сведения к минимуму неблагоприятных экологических условий за счет улучшения всеми доступными способами свойств субстрата. Поскольку почва является базисом любой наземной экосистемы, то скорость её формирования определяет скорость формирования всех других компонентов экосистемы и качества их функционирования (Андроханов, Курачев, 2009). Очень большое значение также имеет подбор подходящего для этих условий ассортимента древесных и травянистых видов растений.

Выводы

Таким образом, ежегодно в мире образуется несколько миллиардов тонн твердых коммунальных отходов и, по меньшей мере, 33% из них не утилизируются экологически безопасными способами. Такие ТКО оказывают негативное влияние на атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный покров, растения, расположенные вблизи свалок. Ликвидация последствий от свалок является актуальным как во всём мире, так и в нашей стране.

Для оптимизации ТКО разработано несколько этапов: технический и биологический. В биологический этап рекультивации входят технологии фиторемедиации, которая на наш взгляд может оказаться весьма перспективной для обезвреживания полигонов захоронения ТКО. Следует отметить, что в нашей стране работы по биологической рекультивации таких полигонов находятся в самом начале развития и основаны в значительной степени на отечественном опыте рекультивации нарушенных земель в промышленных зонах.

В Крыму вопросом изучения влияния уже рекультивированных полигонов ТКО на окружающую среду занимались не в достаточной мере. В том числе не дана оценка пригодности техногенных субстратов и почв под различные виды деревьев и кустарников и не установлены для них допустимые критерии основных эдафических показателей.

Не осуществлены мониторинг оструктурирования, содержания органического вещества, азота, фосфора, калия и влаги в молодых почвах на полигонах ТКО в Крыму.

При этом наиболее актуальными остаются вопросы восстановления почвы и фитомелиоративной значимости используемых видов растений, выявление их состава, особенностей роста и развития, подбор совершенно новых видов рекультивантов на территории Крыма.

Литература / References

Андроханов В.А., Курачев В.М. Принципы оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 2. С. 165–169.

[Androkhonov V.A., Kurachev V.M. Principles of assessing the soil-ecological state of technogenic landscapes. *Siberian Ecological Journal*. 2009. 2: 165–169]

Аржанцева З.Ю. Рекультивация полигонов ТКО // Метеорологический вестник. 2018. Т. 10, № 2. С. 50–65.

[Arzhantseva Z.Yu. Recultivation of landfills of MSW. *Meteorological Bulletin*. 2018. 10 (2): 50 – 65]

Артемова Е.А., Клименко К.В., Орлова Т.А. Рекультивация нарушенных земель в Республике Крым // Современные проблемы и перспективы развития земельно-имущественных отношений. Сборник статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, 2020. С. 332–337.

[Artemova E.A., Klimenko K.V., Orlova T.A. Recultivation of disturbed lands in the Republic of Crimea. *Modern problems and prospects of development of land and property relations*. Collection of articles based on the materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference, 2020: 332–337]

Башмаков Д.И., Лукаткин А.С. Аккумуляция тяжёлых металлов некоторыми высшими растениями в разных условиях местообитания // Агрохимия. 2002. № 9. С. 66–71.

[Bashmakov D.I., Lukatkin A.S. Accumulation of heavy metals by some higher plants in different habitat conditions. *Agrochemistry*. 2002. 9: 66–71]

Ергина Е.И., Адамень Ф.Ф., Сташкина А.Ф. Оценка проектов рекультивации нарушенных земель в Республике Крым // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020. № 136. С. 130–139.

[Ergina E.I., Adamen F.F., Stashkina A.F. Evaluation of projects for the reclamation of disturbed lands in the Republic of Crimea. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2020. 136: 130–139]

Ермохин А.А., Киреева Т.В. Приёмы фиторемедиации для очищения стоков // «Студенческий научный форум» // Материалы XI Международной студенческой научной конференции: сетевой журн 2019. №5 (часть 2). <https://scienceforum.ru/2019/article/2018012682> (дата обращения: 06.06.2022).

[Ermokhin A.A., Kireeva T.V. Methods of phytoremediation for wastewater purification. *Student Scientific Forum*. Materials of the XI International Student Scientific conferences: network journal 2019. No.5 (part 2) . <https://scienceforum.ru/2019/article/2018012682> (date of application: 06.06.2022)]

Застенский Л.С. Эколого-агротехнические основы облесения рекультивируемых карьеров: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.03.01. Минск, 1983. 460 с.

[Zastensky L.S. Ecological and agrotechnical foundations of afforestation of recultivated quarries: dissertation ... Doctor of Agricultural Sciences: 06.03.01. Minsk, 1983. 460 p.]

Киреева Н.А., Григориади А.С., Багаутдинов Ф.Я. Фиторемедиация как способ очищения почв, загрязнённых тяжёлыми металлами // Теоретическая и прикладная экология. 2011. №3. С. 4–10.

[Kireeva N.A., Grigoriadi A.S., Bagautdinov F.Ya. Phytoremediation as a method of purification of soils contaminated with heavy metals. *Theoretical and Applied Ecology*. 2011. 3: 4–10]

Клименко К.В., Орлова Т.А., Исмаилов Р.Р. Мониторинг распространения стихийных свалок твердых коммунальных отходов в республике Крым // Вестник факультета землеустройства Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 3. С. 26–29.

[Klimenko K.V., Orlova T.A., Ismailov R.R. Monitoring of the spread of spontaneous landfills of municipal solid waste in the Republic of Crimea. *Bulletin of the Faculty of Land Management of St. Petersburg State Agrarian University*. 2017. 3: 26–29]

Корженевский В.В., Мухин А.В., Оболонский А.Е., Опанасенко Н.Е., Халимендик Ю.М. Мелиоративно-агротехнические приемы рекультивации породных отвалов // Науковий вісник НГА України. 2001. № 2. С. 95–98.

[Korzhenevsky V.V., Mukhin A.V., Obolonsky A.E., Opanasenko N.E., Khalimendik Yu.M. Land reclamation and agrotechnical methods of reclamation of rock dumps. *Naukoviy Bulletin of NGA of Ukraine*. 2001. 2: 95–98]

Крашенинников Д.А. Геоинформационная система мониторинга нарушенных твердыми бытовыми отходами земель для условий Саратовского Левобережья / Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 4(28). С. 106–120.

[Krashenninnikov D.A. Geoinformation system of monitoring of lands disturbed by solid household waste for the conditions of the Saratov Left Bank. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems*. 2017. 4 (28): 106–120]

Луцевич А.А. Подбор флоры лесополосы для рекультивации свалок твердых бытовых отходов // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4, № 4 (16). С. 21–26.

[Lutsevich A.A. Selection of forest belt flora for recultivation of landfills of solid household waste. *Forestry Journal*. 2014. 4(16): 21–26]

Маджугина Ю.Г., Кузнецов В.В., Шевякова Н.И. Растения полигонов захоронения бытовых отходов мегаполисов как перспективные виды для фиторемедиации // Физиология растений. 2008. Т. 55, №3. С. 453–463.

[Majugina Yu.G., Kuznetsov V.V., Shevyakova N.I. Plants of landfills of municipal waste disposal of megacities as promising species for phytoremediation. *Plant Physiology*. 2008. 55 (3): 453–463]

Малюхин Д.М., Поздняков В.А., Бакина Л.Г., Нагиев Т.Б., Поздняков А.В., Лоскутов С.И., Пухальский Я.В. Экспериментальное задернение многолетними травами грунта техногенного из твердых бытовых/коммунальных отходов, используемого при рекультивации полигонов в качестве плодородного грунта // Биосфера. 2018. Т. 10, № 3. С. 224–232.

[Malyukhin D.M., Pozdnyakov V.A., Bakina L.G., Nagiyev T.B., Pozdnyakov A.V., Loskutov S.I., Pukhalsky Ya.V. Experimental blackening with perennial grasses of technogenic soil from solid household/municipal waste used in the reclamation of landfills as fertile soil. *Biosphere*. 2018. 10 (3): 224–232]

Мамаджанов Р.Х. Оценка жизненного состояния растений в районах размещения полигонов ТБО Чеченской Республики // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. 2016. № 1. С. 28–35.

[Mamadzhanov R.H. Assessment of the vital condition of plants in the areas of landfills of the Chechen Republic. *Bulletin of the Moscow State University. Series: Natural Sciences*. 2016. 1: 28–35]

Мамаджанов Р.Х. Технология проектирования искусственных экосистем на базе техногенных объектов - полигонов твердых бытовых отходов Чеченской Республики // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2015. 4 (33). С. 60–63.

[Mamadzhanov R.H. Technology of designing artificial ecosystems on the basis of technogenic objects - landfills of solid household waste of the Chechen Republic. *Izvestiya Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences*. 2015. 4 (33): 60–63]

Новицкий М.Л., Опанасенко Н.Е. О сульфидных горных породах и молодых почвах шахтных отвалов // Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. вып. до IX з'їзду УТІА. Харків, 2014. С. 55–56.

[Novitsky M.L., Opanasenko N.E. On sulfide rocks and young soils of mine dumps // Agrochemistry and Gruntoznnavstvo. Specialist. issue to IX congress UTSA. Kharkiv, 2014. P. 55–56]

Новицкий М.Л., Плугатарь Ю.В. Водно-физические свойства эмбриоземов в понижениях и сульфидной горной породы на отвалах шахт Западного Донбасса // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019. Вып. 131. С. 9–15.
[Novitsky M.L., Plugatar Yu.V. Water-physical properties of embryozems in depressions and sulfide rocks on mine dumps in the Western Donbas. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2019. 131: 9–15]

Опанасенко Н.Е., Костенко И.В., Корженевский В.В., Халимендик Ю.М., Бабич И.В., Кайданович О.А. Основные итоги почвенно-биологических исследований и рекультивации сульфидных отвалов Западного Донбасса // Проблемы збереження, відновлення біорізноманітності в умовах антропогенно зміненого середовища. Матеріали Міжнар. наук. конф. (Кривий Ріг, 16–19 травня 2005 р.). Дніпропетровськ, 2005. С. 49–51.

[Opasen N.E., Kostenko I.V., Korzhenevsky V.V., Khalimendik Yu.M., Babich I.V., Kaidanovich O.A. The main results of soil-biological research and reclamation of sulfide dumps in the Western Donbass. *Problems of conservation, renewal of biorelevance in the minds of an anthropogenically changed environment: materials of the Intern. Sciences. conf.* (Kriviy Rig, 16–19 May 2005). Dnipropetrovsk, 2005: 49–51]

Опанасенко Н.Е., Костенко И.В., Корженевский В.В., Оболонский А.Е., Яворский В.Н. Значение мезорельефа в интенсификации почвообразования отвалов сульфидных пород и для их рекультивации // Рациональне використання рекультивованих та еродованих земель. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (29–31 травня 2001 року), Дніпропетровськ – Орджонікідзе. Дніпропетровськ, 2002. С. 79–84.

[Opasen N.E., Kostenko I.V., Korzhenevsky V.V., Obolonsky A.E., Yavorsky V.N. Significance of the mesorelief in the intensification of soil formation in dumps of sulfide rocks and for their reclamation. *Rational selection of recultivation of taered lands*. Materials of the Intern. sci.-pract. conf. May 29-31, 2001. Dnipropetrovsk - Ordzhonikidze, Dnipropetrovsk, 2002: 79–84]

Опанасенко Н.Е., Корженевский В.В., Халимендик Ю.М., Оболонский А.Е., Кононенко Н.А. Теория и практика рекультивации и озеленения породных отвалов в Западном Донбассе // Уголь Украины. 2000. № 7. С. 29–32.

[Opasen N.E., Korzhenevsky V.V., Khalimendik Yu. Theory and practice of reclamation and greening of rock dumps in the Western Donbass. *Coal of Ukraine*. 2000. 7: 29–32]

Панин М.С. Цинк в растительности поймы реки Иртыш (Загрязнение в результате воздействия промышленного предприятия ОА Казцинк) // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. Семипалатинск, 2002. С. 174–186.

[Panin M.S. Zinc in the vegetation of the Irtysh River floodplain (Pollution as a result of the impact of the industrial enterprise ОА Kazzinc). *Heavy metals and radionuclides in the environment*. Semipalatinsk, 2002: 174–186]

Пасынкова М.В. Накопление тяжелых металлов растениями на отвалах литейного производства // Растительность в условиях техногенных ландшафтов Урала. Сб. науч. тр. Свердловск: Изд-во УрО АН СССР, 1989. С. 113–120.

[Pasinkova M.V. Accumulation of heavy metals by plants on foundry dumps. Vegetation in conditions of technogenic landscapes of the Urals. Collection of scientific tr. Sverdlovsk: Publishing House of the Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1989: 113–120]

Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В., Головнев И.И., Славгородская О.А. Оптимизация техногенных ландшафтов Крыма. Сообщение 1. Карьеры и котлованы // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. №1(158). С. 7–25.

[Plugatar Yu.V., Korzhenevsky V.V., Golovnev I.I., Slavgorodskaya O.A. Optimization of technogenic landscapes of the Crimea. Message 1. Quarries and pits. *Plant biology and horticulture: theory, innovations*. 2021. 1 (158): 7–25]

Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В., Головнев И.И., Славгородская О.А. Оптимизация техногенных ландшафтов Крыма. Сообщение 2. Свалки, насыпи и отвалы // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. №4 (161). С. 7–26.

[Plugatar Yu.V., Korzhenevsky V.V., Golovnev I.I., Slavgorodskaya O.A. Optimization of technogenic landscapes of Crimea. Message 2. Landfills, embankments and dumps. *Plant biology and horticulture: theory, innovations*. 2021: 4 (161): 7–26]

Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В., Новицкий М.Л. Почвенно-биологические основы оценки и повышения плодородия технозёмов и эмбриозёмов на сульфидных отвалах // Земледелие. 2020. № 8. С. 19–23.

[Plugatar Yu.V., Korzhenevsky V.V., Novitsky M.L. Soil-biological bases for assessing and increasing the fertility of technozems and embryozems on sulfide dumps. *Agriculture*. 2020. 8: 19–23]

Плугатарь Ю.В. Корженевский В.В. Оптимизация ландшафтов и ресурсы лесных экосистем Крыма // Национальная Ассоциация Ученых. 2015. № 4–6 (9). С. 119–121.

[Plugatar Yu.V. Korzhenevsky V.V. Optimization of landscapes and resources of forest ecosystems of the Crimea. National Association of Scientists. 2015. 4–6 (9): 119–121]

Пронько Н.А., Крашенинников Д.А., Афонин В.В. О восстановлении нарушенных свалками и полигонами земель Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2017. № 3. С. 20–23.

[Pronko N.A., Krasheninnikov D.A., Afonin V.V. On the restoration of the lands of the Saratov region disturbed by landfills and landfills. *Agrarian Scientific Journal*. 2017. 3: 20–23]

Прасад М.Н. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // Физиология растений. 2003. Т. 50. С. 764–780.

[Prasad M.N. Practical use of plants for restoration of ecosystems contaminated with metals. *Plant physiology*. 2003. 50: 764–780]

Рудакова Л.В., Белик Е.С., Слюсарь Н.Н. Микробиологическая оценка свалочных новообразований на рекультивированных свалках твердых бытовых отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 13. С. 230–234.

[Rudakova L.V., Belik E.S., Slyusar N.N. Microbiological assessment of landfill neoplasms in recultivated landfills of solid household waste. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2015. 18 (13): 230–234]

Садыкова Г.Э. Экологическое обоснование технических решений по рекультивации нарушенных земель в Республике Крым // Экономика строительства и природопользования. 2017. Т. 1 (2). С. 57–63.

[Sadykova G.E. Ecological justification of technical solutions for recultivation of disturbed lands in the Republic of Crimea. *Economics of construction and environmental management*. 2017. 1 (2): 57–63]

Санина Д.В. Особенности воздействия полигонов ТКО на окружающую природную среду и технологические способы ее рекультивации // 70-я Международная студенческая научно-техническая конференция, посвященная 90-летию АИРХ-АТИРПиХ-АГТУ. Материалы конференции (Астрахань, 13–18 апреля 2020 года) ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Астрахань: Астраханский государственный технический университет, 2020. С. 55–58.

[Sanina D.V. Features of the impact of MSW landfills on the environment and technological methods of its reclamation. *70th International Student Scientific and Technical Conference*

dedicated to the 90th anniversary of AIRH-ATIRPiH-AGTU. Materials of Conference (Astrakhan, April 13-18, 2020). Astrakhan State Technical University. Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 2020: 55–58]

Слюсарь Н.Н. Использование результатов оценки экологического риска для разработки программ вывода из эксплуатации старых свалок // Вестник МГСУ. 2016. № 8. С. 88–99.

[Slyusar N.N. Using the results of environmental risk assessment for the development of programs for decommissioning old landfills. Bulletin of MGSU. 2016. 8: 88–99]

Сорока Н.В., Синдирева А.В., Мельников Д.А. Оценка экологической безопасности использования отходов при рекультивации полигонов твердых коммунальных отходов // Вестник Омского государственного аграрного университета, 2018. № 2 (30). С. 53–62.

[Soroka N.V., Sindireva A.V., Melnikov D.A. Assessment of environmental safety of waste use during reclamation of landfills of solid municipal waste. Bulletin of Omsk State Agrarian University. 2018. 2 (30): 53–62]

Теплякова Т.Е., Малухин Д.М., Бакина Л.Г. Особенности формирования растительного покрова на новых видах органогенных субстратов при рекультивации полигона твердых бытовых отходов // Биосфера. 2014. Т. 6, № 2. С. 134–145.

[Teplyakova T.E., Malyukhin D.M., Bakina L.G. Features of vegetation cover formation on new types of organogenic substrates during recultivation of solid waste landfill. Biosphere. 2014. 6 (2): 134–145]

Тимофеева С.С. Современные методы экологической диагностики загрязнения почв // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 11 (58). С. 88–93.

[Timofeeva S.S. Modern methods of ecological diagnostics of soil pollution. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2011. 11 (58): 88–93]

Титов А.В. Технология совмещения реконструкции и эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов на примере полигона «МУП «Благоустройство» (Нижегородская область) // Природообустройство. 2018. № 1. С. 106–111.

[Titov A.V. Technology of combining reconstruction and operation of a landfill of solid municipal waste on the example of the landfill "Municipal Unitary Enterprise "Landscaping" (Nizhny Novgorod region). Nature management. 2018. 1: 106–111]

Трушин Б.В. Принципы эффективной рекультивации полигонов ТКО // Твердые бытовые отходы. 2019. № 5. – С. 19–22.

[Trushi, B.V. Principles of effective recultivation of MSW landfills. Solid household waste. 2019. 5: 19–22]

Турсуналиева Д.М. Устойчивое и экологически безопасное управление промышленными отходами в Кыргызской Республике // ВЕСТНИК КЭУ им. М.Рыскулбекова. 2019. № 1 (46). С. 213–216.

[Tursunaliyeva D.M. Sustainable and environmentally safe management of industrial waste in the Kyrgyz Republic. BULLETIN of the M.Ryskulbekov KEU. 2019. 1 (46): 213–216]

Фомина Е.Ю., Григоренко К.С. Европейский опыт проектов по санации старых полигонов ТБО // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 6 (65). С. 123–127.

[Fomina E.Yu., Grigorenko K.S. European experience of projects for the rehabilitation of old landfills. Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2012. 6 (65): 123–127]

Холодова В.П., Волков К.С., Кузнецов В.В. Адаптация к высоким концентрациям солей меди и цинка растений хрустальной травки и возможность их использования в целях фиторемедиации // Физиология растений. 2005. Т. 52. С. 848–858.

[Kholodova V.P., Volkov K.S., Kuznetsov V.V. Adaptation to high concentrations of copper and zinc salts of crystal grass plants and the possibility of their use for phytoremediation purposes. *Plant physiology*. 2005. 52: 848–858]

Baker A.J.M., Brooks R.R. Terrestrial Higher Plants which Hyperaccumulate Metallic Elements - A Review of their Distribution, Ecology and Phytochemistry // *Biorecovery*. 1989. Vol. 1. P. 81–126.

Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis // *Planta*. 2001. Vol. 212. P. 475–486.

Pilon-Smits E. Phytoremediation. // *Annu Rev Plant Biol*. 2005. Vol. 56. P. 15–39.

Hogland M., Hogland W., Jani Y., Kaczala F., Luis de SáSalomão A., Kriipsalu M., Orupöld K., Burlakovs J. Experiences of three landfill mining projects in the baltic sea area – with focus on machinery for material recovery // Conference: Linnaeus ECO-TECH'14At: Kalmar, Sweden, 2014. P.50–62

Burlakovs J., Kriipsalu Dr.M., Arina D., Kaczala Dr.F., Shmarin S., Denafas G., Hogland W. Former dump sites and the landfill mining perspectives in baltic countries and sweden: the status // Conference: SGEM Proceedings, 2013. P. 303–310

Zaulfikar S.B. Landfill mining dominated by organic solid waste: a review on its benefits, potential and challenges to recovery landfills in growing cities in Indonesia // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 845. Art. 012052. P 1-11. Doi:10.1088/1757-899X/845/1/01205

El-Hoz M.A. Qualitative-quantitative methodological approach for sustainable reclamation of open dumps: the case of the controlled dump of Tripoli: 7th IconSWM–ISWMAW 2017. Vol. 2. // *Waste Valorisation and Recycling* / S.K. Ghosh (ed.). Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2019. P. 105–118. DOI: 10.1007/978-981-13-2784-1_10.

Kaza S., Lisa Y., PerinazBhada-Tata, Frank Van Woerden. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban DevelopmentSeries. Washington, DC: WorldBank. 2018. 275 p. DOI:10.1596/978-1-4648 -1329-0.

Salt D.E., Smith R.D., Raskin I. Phytoremediation // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*. 1998. Vol. 49. P. 643–668.

Статья поступила в редакцию 14.07.2022 г.

Novitsky M.L., Asiantseva M.V. Modern trends, state and features of reclamation of solid waste polygons (review) // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2022. № 3 (164). P. 29–42.

The article briefly presents a review of the literature on the intensity of accumulation of municipal solid waste (MSW) and their reclamation both abroad and in our country. The main environmental problem in the world is the disposal of waste in landfills and landfills that have a negative impact on the environment. The land areas where waste is placed are increasing every year. In connection with the need to return the disturbed lands to economic circulation, the recultivation of landfills of solid municipal waste (MSW) is carried out, which includes two stages: technical and biological. The main existing areas of recultivation of landfills and landfills are agricultural (creation of arable land, hayfields, pastures), forestry, recreational and construction. The technical stage of recultivation of MSW landfills is carried out in order to protect soils, water resources, atmospheric air, and nearby territories from the effects of landfill bodies by creating a recultivation coating. The biological stage of reclamation is reduced to the need to overcome or minimize adverse environmental conditions by improving the properties of the substrate by all available means, as well as selecting an assortment of woody and herbaceous plant species suitable for these conditions.

Key words: *recultivation; landfills; landfill; restoration of disturbed lands; biological stage; recultivation*