

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

устойчивое развитие городов, загрязненные территории, зеленая рекультивация, экологический след

# РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ – ПОДХОДЫ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ГОРОДОВ

**М. М. Бродач**, канд. техн. наук, профессор МАрхИ (Государственная академия)  
**Н. В. Шилкин**, канд. техн. наук, профессор МАрхИ (Государственная академия)

Управление загрязненными территориями в настоящее время является одной из критических проблем во всем мире. Москва и другие крупные города России не являются исключением – здесь требуется решить проблемы рекультивации бывших промышленных предприятий, свалок, и т. д. [1, 2]. Традиционный подход к рекультивации загрязненных территорий предполагает снижение уровня загрязнения до приемлемого за короткий период времени при низких затратах. Однако часто данный подход не отвечает критериям устойчивого развития. Существует огромная потребность в устойчивых, или зеленых подходах, которые учитывают все аспекты – экологические, социальные и экономические последствия на протяжении всего цикла рекультивации.

## История разработки принципов устойчивой рекультивации

Принципы устойчивой рекультивации загрязненных территорий начали разрабатываться в середине 1970-х годов. Связано это с тем, что все больше и больше проектов застройки на ранее используемых территориях столкнулись с экологическими проблемами. Всемирную известность получили инциденты в городе Леккеркерк в Нидерландах и в районе Лав-Канал города Ниагара-Фолс в США.

В Леккеркерке в 1980–1981 годах обнаружили, что почва под новым районом сильно загрязнена – район располагался на месте бывшей свалке промышленных отходов. Стоимость рекультивации составила 188 млн голландских гульденов (эквивалентно 85 млн евро).

На месте района Лав-Канал в 1942–1952 годах располагался полигон для захоронения отходов химической промышленности. В 1953 году он был передан городу Ниагара-Фолс и использован под жилую застройку. К началу 1970-х годов практически у всех жителей Лав-Канала обнаружались проблемы со здоровьем, вызванные отравлением токсичными отходами. В результате гражданских протестов район был расселен, начались работы по очистке, но и в настоящее время часть территории не полностью очищена.

## Устойчивая рекультивация

Устойчивая рекультивация (устойчивое восстановление) загрязненных территорий – это безопасное и своевременное устранение неприемлемых рисков с учетом энерго-экологического, социально-культурного и экономического аспектов устойчивого развития (подробнее см. \*)).

Сложившаяся мировая практика управления загрязненными территориями, включая загрязненные почвы и грунтовые воды, основывается на так называемом риск-ориентированном подходе (см. \*\*)). Прежде всего требуется установить необходимость работ по рекультивации и «конечную точку» (целевую функцию) восстановления. Непосредственно рекультивация начинается с анализа вариантов стратегий, которые могут обеспечить требуемое снижение риска, связанного с загрязнением. Ее стратегия включает одну или несколько технологий, которые и обеспечивают своевременное и безопасное устранение неприемлемых рисков загрязнения. Для сравнения альтернативных стратегий восстановления используются индикаторы.

Индикатор – это показатель, определяющий эффект устойчивости среды обитания. Он может определять как позитивное, так и негативное воздействие. Индикаторы используются для сравнительной оценки различных вариантов. Их примерами являются выбросы парниковых газов (негативное воздействие) или, скажем, озелененность территории (позитивное воздействие).

Процедура устойчивой рекультивации определена стандартом ISO 18504:2017(en) «Soil quality – Sustainable remediation» (в русском переводе ISO 18504:2017 «Качество почвы. Устойчивое восстановление»). Стандарт ISO 18504

## \*) ТРИАДА SOCIAL–ENVIRONMENT–ECONOMIC

Устойчивое развитие обычно представляют в виде триады social–environment–economic, то есть социального развития, охраны окружающей среды (включая, разумеется, энерго- и ресурсосбережение) и экономического развития [3]. Социально-культурный аспект формирует категории оценки потребностей, отражающие представления современного поколения о качестве жизни. Социально-культурный аспект включает охрану здоровья и безопасность, инклюзивность и равенство возможностей для всех категорий граждан, социальное развитие и здоровый образ жизни. Энерго-экологический аспект формирует



рует категории оценки потребления природных ресурсов, отражающие стремление современного поколения снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет сокращения эмиссии парниковых газов в атмосферу (декарбонизации) и одновременно обеспечить для следующих поколений справедливое право на пользование невозобновляемыми и возобновляемыми ресурсами Земли. Энерго-экологический аспект включает строительство объектов недвижимости, отвечающих требованиям устойчивости среды обитания, управление транспортом, выбросами парниковых газов, энерго- и ресурсопотреблением, отходами, минимизацию экологических рисков и сохранение биологического разнообразия. Экономический аспект формирует категории оценки соотношения потребностей и потребления, отражающие стремление современного поколения к снижению стоимости жизненного цикла объекта недвижимости, а также экономическое развитие на региональном уровне.

Эти три аспекта – пропорционально взаимодействующие, взаимозависимые, с пересекающимися векторами воздействия, определяющими набор и соотношение категорий, отражающих устойчивость среды обитания как целевой задачи обеспечения устойчивости развития общества в сфере строительства.

## \*\*\*) РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Риск-ориентированный подход представляет собой метод организации и осуществления государственного контроля (надзора), при котором выбор интенсивности (формы, продолжительности, периодичности) проведения мероприятий по контролю и профилактике нарушения обязательных требований определяется отнесением деятельности юридического лица, индивидуального предпринимателя и (или) используемых ими при осуществлении такой деятельности производственных объектов к определенной категории риска либо определенному классу (категории) опасности (Федеральный закон от 26 декабря 2008 года № 294-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля» (ред. от 8 марта 2022 года)).

Иными словами, риск-ориентированный подход предполагает ужесточение надзора при высоких возможных рисках и, наоборот, послабления при рисках низких.

включает терминологию, методологию устойчивой рекультивации, средства оценки альтернативных стратегий рекультивации для различных территорий. На определение того, что является и что не является устойчивой рекультивацией конкретной территории, влияет множество региональных правовых, политических, социально-экономических и экологических особенностей.

### Браунфилд

Стандарт ISO 18504 содержит определение понятия «браунфилд» (дословно «коричневое поле»). У нас в стране этот термин иногда используется для обозначения земельного участка под застройку, обладающего необходимой инженерной инфраструктурой (в отличие от «гринфилда», «зеленого поля» – участка под застройку без какой-либо инфраструктуры). В ISO 18504 термин «браунфилд» имеет несколько иное толкование. Это участок, который:

- ранее использовался;
- заброшен или используется недостаточно;
- находится в полностью или частично застроенных городских районах;
- требует рекультивации для его возвращения к полезному использованию;
- может иметь проблемы с загрязнением, реальные или предполагаемые (возможные).

В городском планировании под браунфилдом обычно понимается ранее застроенная или использованная в промышленных и коммерческих целях территория, которая в настоящее время не используется. Потенциально она может быть загрязнена, в том числе опасными отходами. Типичные примеры таких территорий – заброшенные промышленные предприятия, свалки и т. д.

Многие загрязненные заброшенные территории долгое время не используются из-за того, что стоимость очистки превышает стоимость земельного участка после рекультивации.

### «Экологическая справедливость»

В стандарте ISO 18504 содержится очень интересное понятие *environmental justice*, которое не очень точно можно перевести на русский как «экологическая справед-

ливость». Эта «экологическая справедливость» определяется как сочетание экологических прав и экологических обязанностей, утверждающее, что каждый человек имеет право на здоровое пространство для жизни, работы, отдыха, обучения и развлечений, право на справедливую долю природных благ и экосистемных услуг, таких как пища и вода, но при этом имеет также и обязанность заботиться о планете для блага других людей и будущих поколений.

### «Зеленая» рекультивация

В некоторых странах понятие «устойчивая рекультивация» отождествляется с концепциями «зеленой рекультивации» (*green remediation*) и «зеленой и устойчивой рекультивации» (*green and sustainable remediation, GSR*). Однако в стандарте ISO 18504 сделана оговорка, что концепция GSR в этом документе не поддерживается и не обсуждается, то есть вводится различие между понятиями.

Дело в том, что рекультивация не всегда отвечает требованиям устойчивого развития. Работы по рекультивации могут иметь негативные последствия с точки зрения всех трех аспектов устойчивого развития – энерго-экологического, экономического, социокультурного:

- негативные энерго-экологические последствия – использование невозобновляемых ресурсов, негативное воздействие на воду, загрязнение воздуха парниковыми газами;
- негативные экономические последствия – экономическая целесообразность и жизнеспособность предприятий или проектов;
- негативные социокультурные последствия – риски для рабочих, нарушение сложившейся схемы дорожного движения.

Иными словами, зачастую для того, чтобы удалить некоторое количество загрязнителя из почвы, требуется затратить такое количество энергии и воды, которое загрязнит атмосферу и воду в десятки раз сильнее. С другой стороны, имеет значение и план будущего использования рекультивированной территории: для размещения промышленных предприятий требования по качеству рекультивации могут быть ниже, чем при использовании этой же территории под жилую застройку.

# «АВОК»: сертификация программного обеспечения

20 лет опыта сертификации  
российских и зарубежных  
программ



[www.abok.ru](http://www.abok.ru)  
+7 (495) 621-8048

СДС ФЦСПО «АВОК»

Традиционный подход к рекультивации загрязненной территории обычно учитывает традиционные критерии:

- эффективность и пригодность конкретного метода рекультивации для достижения цели;
- простота реализации;
- экономические затраты на рекультивацию;
- сроки рекультивации.

Стратегия зеленой, или устойчивой рекультивации основывается на понятии устойчивого развития, при котором охрана окружающей среды не препятствует экономическому развитию, а экономическое развитие является экологически жизнеспособным сегодня и в долгосрочной перспективе (в интересах будущих поколений). Устойчивое развитие удовлетворяет потребности настоящего, не ставя под угрозу потребности будущих поколений, сводя при этом к минимуму общее бремя для общества. Поэтому и концепция зеленой рекультивации основывается на идее защиты здоровья человека и защиты окружающей среды при минимизации воздействия на эту окружающую среду. Учитываются следующие критерии:

- эффективное использование энергии и природных ресурсов;
- минимизация негативного воздействия на окружающую среду;
- минимизация или устранение источников загрязнения;
- минимизация отходов.

Зеленая, или устойчивая рекультивация использует в качестве целевой функции снижение экологической нагрузки на окружающую среду в ходе выполнения работ по рекультивации – так называемый экологический след, и позволяет избежать потенциального сопутствующего экологического ущерба:

- загрязнение воздуха токсичными загрязнителями и твердыми частицами;
- нарушение гидрологии;
- эрозия почвы и истощение питательных веществ;
- сокращение биоразнообразия;
- эмиссия парниковых газов.

Стратегия устойчивой рекультивации также отражает необходимость сохранения естественного гидрологического цикла Земли. Работы по рекультивации обычно включают меры по водосбережению, управление ливневыми стоками, повторное использование технической воды.

## Основные элементы зеленой рекультивации

Зеленая рекультивация направлена на минимизацию энергетического и экологического воздействия. Набор основных элементов разработан Агентством по охране окружающей среды США (U.S. Environmental Protection Agency, US EPA) [4] (см. рис. 1).

### Энергия

Энергетические потребности с точки зрения зеленой рекультивации чрезвычайно важны для анализа. Этот элемент включает использование НВИЭ, технологий пассивного энергопотребления (с нулевым или околонулевым спросом на внешнее энергоснабжение). В дополнение к этому должно использоваться энергоэффективное оборудование, причем его режимы работы должны поддерживаться на пике производительности. Значительно снизить энергопотребление



Рис. 1. Набор основных элементов зеленой рекультивации [4]

позволяет регулярная оценка и оптимизация энергоэффективности оборудования.

Анализ возможностей использования НВИЭ при рекультивации бывших производственных зон в нашей стране приведен в [5].

### Воздух

Этот элемент в основном связан с выбросами в атмосферу, вызванными различными видами топлива, при любой операции по рекультивации. Особое внимание уделяется сведению к минимуму использования оборудования, потребляющего большое количество топлива, и использованию для работы этого оборудования более чистых видов топлива. Этот элемент также учитывает сокращение токсичных загрязнителей, таких как озон, твердые частицы, окись углерода, двуокись азота, двуокись серы и свинец. Необходимо свести к минимуму и перенос загрязняющих веществ в виде пыли.

### Вода

Минимизация водопотребления и воздействие на водные ресурсы также являются ключевым компонентом зеленой рекультивации за счет минимизации использования пресной воды и максимального повторного использования воды во время повседневных операций и процессов рекультивации. Очищенная вода может быть использована, например, для орошения. Для озеленения можно использовать местные виды растений, требующие небольшого полива или вообще его не требующие. Кроме того, близлежащие водоемы должны быть защищены от таких воздействий, как загрязнение органическими веществами.

### Земля и экосистемы

Для минимизации негативного воздействия на землю и экосистемы следует использовать минимально инвазивные технологии, учитывающие конкретные особенности участка (принцип *in situ* – от лат. «на месте», «в месте нахождения»). По возможности в качестве основных средств защиты следует выбирать пассивные энергетические технологии, такие как биоремедиация и фиторемедиация. Биоремедиация – комплекс методов очистки вод, грунтов и атмосферы с использованием метаболического потенциала биологических объектов – растений, грибов, насекомых, червей и других

организмов. Фиторемедиация – подраздел биоремедиации, комплекс методов очистки сточных вод, грунтов и атмосферного воздуха с использованием зеленых растений. Хороший пример биоремедиации – установка очистки сточных вод Living Machine, описанная в [6, 7]. Этот элемент также требует сведения к минимуму нарушения почвы, нарушения освещенности, а также снижения уровня шума.

### Материалы и отходы

Выбранные для зеленой рекультивации технологии должны обеспечивать минимальное количество отходов. Следует максимизировать повторное использование и переработку материалов.

### Экологический менеджмент

Цели экологического менеджмента обычно являются долгосрочными. Это, например, сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> и других парниковых газов, способствующих изменению климата; интеграция адаптивного подхода к управлению в средства контроля на объекте; использование возобновляемой энергии как для непосредственно процесса рекультивации, так и для будущей деятельности на рекультивированной территории. Немаловажный фактор – экологическое просвещение: необходимы мероприятия по информированию людей об экологических особенностях проекта, их вовлечению в долгосрочную деятельность по повышению устойчивости среды обитания.

### Экологический след проекта рекультивации

Экологический след (environmental footprint или ecological footprint, по аналогии с углеродным следом, carbon footprint) – мера оценки воздействия человека на окружающую среду, которая отражает отношение потребностей к биоемкости (способности экосистем к воспроизводству потребляемых ресурсов). В глобальном масштабе оценка экологического следа показывают, насколько велик спрос человечества по сравнению с тем, что Земля может восстановить. Это можно пояснить на следующем примере: по оценкам независимого некоммерческого аналитического центра Global Footprint Network, по состоянию на 2014 год человечество использовало природный капитал в 1,7 раза быстрее, чем Земля способна его возобновлять, то есть экологический след всего человечества соответствует 1,7 планеты Земля и для воспроизводства всех ресурсов, которые сейчас потребляет человечество, необходимо 1,7 планеты Земля.

### Анализ экологического следа широко используется во всем мире для оценки устойчивости среды обитания.

Идея экологического следа была предложена канадским ученым Уильямом Рисом в 1992 году. Сама концепция экологического следа и метод его расчета были разработаны в

# ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЗДОРОВЫЕ ЗДАНИЯ



[zvt.abok.ru](http://zvt.abok.ru)

**Электронный ресурс**  
**ЗДАНИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ** №2-2021  
SUSTAINABLE BUILDING TECHNOLOGIES

- КОМФОРТНЫЙ КЛИМАТ В ТЕАТРАХ НАН РЕЗУЛЬТАТ ЭВОЛЮЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
- КОМПЛЕКСНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ КВАРТАЛА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ДОМОВ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗОТЫ
- ПЕРВАЯ ШКОЛА БЕЗ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В КАНАДЕ

**В ТЮМЕНИ БУДЕТ ПОСТРОЕН ПЕРВЫЙ ДОМ УРОВНЯ EXCELLENT СОГЛАСНО МЕТОДОЛОГИИ BREEAM**

**Электронный ресурс**  
**ЗДАНИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ** №1-2021  
SUSTAINABLE BUILDING TECHNOLOGIES

- СОВЕРШЕНИЕ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ НЕДВИЖИМОСТИ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ – РЕЗУЛЬТАТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОНАЦИИ
- МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА МЕДИЦИНСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЗАРЯДОПОДАВАНИЯ

**УМНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗДОРОВОЙ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

**Электронный ресурс**  
**ЗДАНИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ** №3-2020  
SUSTAINABLE BUILDING TECHNOLOGIES

- ЗДАНИЯ, КОТОРЫЕ ПОМОГАЮТ НАМ ВЕСТИ ЗДОРОВЫЙ ОБРАЗ ЖИЗНИ: НОВЫЙ СТАНДАРТ «ЗДОРОВОЙ СРЕДЫ» FITWEL
- КОММЕРЧЕСКОЕ ЗДАНИЕ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ И ВЫХОДА ИЗ НЕЕ – КОМФОРТ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЗДОРОВЬЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ

**TROTEC**  
ИЗМЕРЕНИЯ, ДОСТУПНЫЕ КАЖДОМУ

диссертации Матиса Вакернагеля под руководством Риса в Университете Британской Колумбии в Ванкувере, Канада, с 1990 по 1994 год.

В процессе зеленой рекультивации необходимо подробно проанализировать и изучить основные факторы, определяющие экологический след – воздействие на окружающую среду. По результатам этого анализа можно выполнить количественную оценку показателей рекультивации и сделать ряд технических предложений по уменьшению воздействия мероприятий по восстановлению. Возможно выделить доминирующие аспекты экологического следа и, таким образом, адаптировать стратегии для уменьшения их вклада в экологический след.

Показатели экологического следа зеленой рекультивации используют пять из шести ее элементов (за исключением экологического менеджмента):

- Показатели в категории «Материалы и отходы» учитывают общее количество материалов, используемых на рекультивируемой территории, и процентную долю материалов, произведенных из переработанного сырья, повторно использованных материалов или использованных отходов. Показатели отходов учитывают общее количество отходов, образующихся на объекте, и процент от общего количества потенциальных отходов на объекте, которые перерабатываются или повторно используются.

- Показатели в категории «Вода» учитывают источник водоснабжения и расход воды, использованной на рекультивируемой территории, а также качество воды после использования. Источниками воды могут быть водопроводные сети, подземные воды из местного водоносного горизонта, поверхностные воды, регенерированные воды и т. д. При водоотведении и утилизации стоков вода может быть сброшена, использована для ирригации и в промышленных процессах или повторно использована в системе центрального или индивидуального водоснабжения.

- Показатели в категории «Энергия» учитывают общее количество энергии, используемой при рекультивации территории. Кроме того, учитывается возобновляемая энергия.

- Показатели в категории «Воздух» учитывают выбросы парниковых газов, оксидов азота (NOx), оксидов серы (SOx), твердых частиц размером менее 10 мкм (PM10) и опасных загрязнителей воздуха (hazardous air pollutants, HAPs).

- Показатели в категории «Земля и экосистемы» представляют собой качественное описание потенциального нарушения почв и экосистем при рекультивации.

## Методология оценки экологического следа

Методология оценки экологического следа основана на семи шагах (рис. 2). Оценка следа начинается с определения целей и рамок анализа (этап 1), за которым следует сбор информации о системе рекультивации, подлежащей оценке (этап 2). На основе этой информации проводится количественная оценка показателей в категориях «Материалы и отходы» (этап 3) и «Вода» (этап 4). Информация о материалах, отходах и воде, а также другая информация о рекультивации позволяет количественно оценить показатели в категориях «Энергия» и «Воздух» (этап 5). В анализ также включено качественное описание экосистем, которые могут быть нарушены при рекультивации (этап 6). В результате анализа определяются основные факторы, влияющие на показатели, и возможности уменьшения общего негативного воздействия работ по рекультивации (этап 7).

## Заключение

Конечная цель устойчивой рекультивации загрязненных территорий – защита здоровья человека и окружающей среды. Для ее достижения требуется разработка инновационных стратегий рекультивации, которые обеспечивают эффективное удаление загрязнений, но при этом эффективно используют природные ресурсы и энергию, уменьшают негативное воздействие на окружающую среду, сокращают количество отходов, то есть позволяют избегать негативных энерго-экологических, экономических и социокультурных последствий.

## Литература

1. Табунщиков Ю. А. Принципы экологического зеленого строительства на загрязненных рекультивируемых территориях // Энергосбережение. 2019. № 3.
2. Корниенко С. В. Ревитализация: новый взгляд на «мусорную» проблему // Энергосбережение. 2020. № 1.
3. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Стратегия устойчивого развития – основа создания здоровой среды обитания // Энергосбережение. 2021. № 4.
4. Green Remediation: Incorporating Sustainable Environmental Practices into Remediation of Contaminated Sites; US Environmental Protection Agency, April 2008; EPA 542-R-08-002.
5. Корниенко С. В. Ревитализация производственных зон: поиск системного обновления города // Энергосбережение. 2019. № 6–7.
6. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003.
7. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Установка очистки сточных вод Living Machine // Сантехника. 2002. № 6. ■

**Этап 1. Определение целей и рамок анализа**



**Этап 2. Сбор информации о системе рекультивации**



**Этап 3. Оценка показателей в категории «Материалы и отходы»**



**Этап 4. Оценка показателей в категории «Вода»**



**Этап 5. Оценка показателей в категориях «Энергия» и «Воздух»**



**Этап 6. Качественное описание экосистем**



**Этап 7. Представление результатов**

Рис. 2. Этапы оценки экологического следа