

ЭКОБИОТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

©2013 С.И. Колесников, Е.Н. Ротина, К.Ш. Казеев

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону

Поступила 09.06.2013

Для оценки эффективности рекультивации почв, загрязненных нефтью или нефтепродуктами, целесообразно использовать методику определения интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) почвы, рассчитанного по наиболее информативным биологическим показателям. Если до рекультивации разница ИПБС между загрязненной и незагрязненной (фоновой) почвой составляет менее 10 %, рекультивацию проводить не целесообразно. Если значение ИПБС рекультивированной почвы и значение ИПБС незагрязненной почвы различаются менее чем на 10 %, значит рекультивация проведена эффективно.

Ключевые слова: загрязнение почв, мазут, рекультивация, эффективность, биологические свойства почвы.

Загрязненные нефтью и нефтепродуктами земли требуют рекультивации. Однако прежде чем проводить рекультивацию, следует оценить целесообразность ее проведения, а после рекультивации целесообразно оценить ее эффективность. Для этого можно использовать такой показатель как остаточное содержание в почве нефти и нефтепродуктов. Однако он не дает объективной картины о состоянии и функционировании почвы, поскольку одно и то же содержание нефти или нефтепродукта в одних почвах (менее устойчивых к загрязнению) будет вызывать нарушение выполнения почвой своих экосистемных функций, а в других почвах (более устойчивых к загрязнению) эта же доза нефти не повлияет на нормальное функционирование почвы. Более точным показателем нарушения выполнения почвой своих экологических функций в результате химического загрязнения является интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы, рассчитанный по наиболее информативным биологическим показателям. Биологические показатели высокочувствительны и первыми показывают отклонение почвы от нормального состояния и функционирования. Ранее установлено, что если значения ИПБС уменьшились менее чем на 5%, то почва выполняет свои экологические функции нормально, при снижении значений ИПБС на 5-10% происходит нарушение информационных экотипов, на 10-25% - биохимических, физико-химических, химических и целостных, более чем на 25% - физических [4].

Под Майкопом расположен один из крупных очагов мазутного загрязнения, где в течение длительного времени сбросы из котельной конденсата с мазутом, а периодически и самого мазута, привели к катастрофическому загрязнению прилегающей территории. При всем негативном воздействии на

окружающую среду загрязненный участок стал ценным полигоном для изучения последствий мазутного загрязнения почв и экосистем в естественных условиях и для отработки путей ликвидации мазутных загрязнений [7, 2, 3].

Цель работы — разработать и апробировать методику оценки эффективности рекультивации загрязненных мазутом почв по биологическим показателям.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Район исследования расположен в Майкопском районе Республики Адыгея. Источником загрязнения территории мазутом является котельная, которая использует топочный мазут 100, IV вида, массовая доля серы не более 2%, малозольный (зольность не более 0,14%), температура застывания не выше минус 25°C.

Почвенный покров представлен двумя типами почв: в верхней половине склона — чернозем выщелоченный слитой, в нижней части территории — бурая лесная слабонасыщенная. Зональная растительность территории — буково-дубово-грабовый мертвопокровный лес. Посередине загрязненной территории проходит просека, заросшая в основном травянистой растительностью.

В 2008 г. территория «Майкопского полигона» была подвергнута рекультивации. Летом была проведена техническая рекультивация, которая заключалась в удалении мазута с поверхности почвы местами при необходимости вместе с верхним пропитанным мазутом слоем почвы. Осенью была осуществлена биологическая рекультивация, включающая распашку участков, лишенных в ходе первого этапа растительности, и высевы на них озимой пшеницы. Образцы почвы были отобраны до рекультивации (2007 г.), после технического (2008 г.) и биологического (2009 г.) этапов рекультивации.

Образцы почв были отобраны как с незагрязненных (фоновых) участков, так и с участков, загрязненных мазутом в разной степени. С каждого из 3-х участков (фон, незначительное загрязнение и значительное загрязнение) ежегодно в течение 3-х

Колесников Сергей Ильич, д.с.-х.н., проф., зав. кафедрой, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru; *Ротина Елена Николаевна*, к.б.н., старший научный сотрудник, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru; *Казеев Камиль Шагидуллоевич*, д.г.н., проф., профессор кафедры, e-mail: kazeev@sfedu.ru

лет (2007-2009) было отобрано по 9 почвенных проб из верхнего слоя чернозема выщелоченного слитого; и точно по такой же схеме были отобраны образцы бурой лесной почвы.

Лабораторно-аналитические исследования были выполнены на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета с использованием общепринятых методов [6, 1]. Активность каталазы измеряли по методике Галстяна, дегидрогеназы — по методике Галстяна в модификации Хазиева. Численность бактерий учитывали методом люминесцентной микроскопии, обилие бактерий рода *Azotobacter* — методом комочков обрастания на среде Эшби. О фитотоксичности почв судили по изменению показателей прорастания семян (всхожесть, энергия прорастания, дружность прорастания, скорость прорастания) и интенсивности начального роста растений (длина корней, длина побегов). В качестве тест-объекта использовали редис сорта «Корунд». Содержание гумуса определяли по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием. Реакцию почвенной среды (рН) определяли потенциометрическим методом.

Интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС) определяли на основе наиболее информативных и чувствительных показателей: активность каталазы и дегидрогеназы, обилие бактерий рода *Azotobacter* и всхожесть. Бактерии рода *Azotobacter* традиционно используют как индикатор химического загрязнения почвы. Каталаза и дегидрогеназа характеризуют протекание окислительно-восстановительных процессов. Они относятся к классу оксидоредуктаз, которые наиболее чувствительны к химическому загрязнению. Всхожесть семян позволяет судить об условиях прорастания растений.

Для расчета ИПБС значение каждого из использованных показателей на контроле (в незагрязненной почве) принимали за 100% и по отношению к нему выражали в процентах значения в остальных вариантах опыта (в загрязненной почве). Затем определяли среднее значение шести выбранных показателей для каждого варианта опыта. Полученное значение (ИПБС) выражено в процентах по отношению к контролю (к 100%). Используемая методика позволяет интегрировать (суммировать) относительные значения разных показателей, абсолютные значения которых не могут быть суммированы, так как имеют разные единицы измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлено содержание мазута в фоновой (незагрязненной), незначительно и значительно загрязненной почве «Майкопского полигона».

В таблице 2 представлен интегральный показатель биологического состояния почв, рассчитанный по наиболее чувствительным и информативным

биологическим показателям: активность каталазы, активность дегидрогеназы, обилие бактерий рода *Azotobacter*, всхожесть редиса.

Как видно из таблицы 2, проведение технического этапа рекультивации практически не повлияло на состояние чернозема слитого (ИПБС был 70%, стал 69% от фона) и сильно ухудшило биологические показатели бурой лесной почвы (ИПБС был 88%, стал 78%). Это связано с тем, что вместе с мазутом был удален верхний слой бурой лесной почвы, где сосредоточены основные запасы гумуса. Это привело к резкому снижению ИПБС. В черноземе слитом гумус распределен по профилю почвы более равномерно, поэтому ИПБС практически не снизился.

Биологический этап рекультивации увеличил значения ИПБС и черноземе слитом с 69% до 95% от ИПБС незагрязненной почвы, и бурой лесной почвы с 78% до 82%. В результате обоих этапов рекультивации ИПБС чернозема слитого вырос с 70% до 95% от фона, а ИПБС бурой лесной почвы снизился с 88% до 82%.

На участках, где загрязнение исходно было не велико и рекультивация не проводилась, ИПБС чернозема слитого вырос с 95% до 106%, а бурой лесной почвы относительно снизился со 118% до 113% от фона. Эти цифры свидетельствуют с одной стороны о стимулирующем эффекте малых доз мазута, с другой о правильности решения не проводить рекультивацию участков с незначительным мазутным загрязнением. Работами [4, 5] показано, что снижение ИПБС более чем на 10% сопровождается нарушением важных экологических функций почвы.

Соответственно, если значение ИПБС рекультивированной почвы и значение ИПБС незагрязненной (фоновой) почвы различаются менее чем на 10%, значит, рекультивация проведена эффективно. Если различия составляют более 10%, то рекультивация не привела к должному эффекту.

Если до рекультивации разница ИПБС между загрязненной и незагрязненной почвой составляет менее 10%, рекультивацию проводить не целесообразно, так как это потребует затрат, а эффект будет не велик, поскольку основные экологические функции почва выполняет и без рекультивации.

Как видно из таблицы 2, рекультивацию чернозема слитого можно считать эффективной, так как разница ИПБС между фоновой и загрязненной почвой до рекультивации составляла 30%, а после рекультивации — только 5%, что меньше 10%.

Что же касается рекультивации бурой лесной почвы, то вряд ли необходимо было проводить технический этап рекультивации. В ходе технической рекультивации вместе с мазутом был удален верхний самый плодородный слой почвы. Как видно из таблицы 2, этот процесс практически не повлиял на ИПБС чернозема слитого (был 70%, стал 69% от фона), так как и нижние слои чернозема достаточно гумусированы, зато резко понизил

ИПБС бурой лесной почвы (был 88%, стал 78% от фона). Биологический этап рекультивации несколько улучшил ее ИПБС (82% от фона), но все равно не восстановил даже до значений предекультивационного состояния (88% от фона).

Таблица 1. Содержание нефтепродуктов в верхнем горизонте (0-10 см) почв «Майкопского полигона»

| Содержание мазута | Фон | Незначительное загрязнение | Значительное загрязнение |
|--------------------|-------------------|---|---|
| Чернозем слитой | | | |
| визуально | мазут отсутствует | редкие отдельные пятна в виде корочки засохшего мазута мощностью до 1 см на поверхности почвы | сплошной слой свежего мазута мощностью до 2 см на поверхности почвы |
| мг/г | 0,13 | 0,26 | 0,32 |
| % | 0,013 | 0,026 | 0,032 |
| Бурая лесная почва | | | |
| визуально | мазут отсутствует | редкие отдельные пятна в виде корочки засохшего мазута мощностью до 1 см на поверхности почвы | сплошной слой свежего мазута мощностью до 2 см на поверхности почвы |
| мг/г | 0,14 | 0,18 | 0,21 |
| % | 0,014 | 0,018 | 0,021 |

Таблица 2. Изменение ИПБС* почв «Майкопского полигона» при их рекультивации, % от фона

| Год | Нерекультивированная территория | | Рекультивированная территория | | Разница между 1 и 2 | Разница между 1 и 3 |
|--------------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| | Фон | Загрязнение (незначительное **) осталось | Этапы рекультивации | Загрязнение (значительное **) ликвидировано | | |
| | 1 | 2 | | 3 | | |
| Чернозем слитой | | | | | | |
| 2007 | 100 | 95 | До рекультивации | 70 | -5 | -30 |
| 2008 | 100 | 101 | После технической рекультивации | 69 | 1 | -31 |
| 2009 | 100 | 106 | После биологической рекультивации | 95 | 6 | -5 |
| Бурая лесная почва | | | | | | |
| 2007 | 100 | 118 | До рекультивации | 88 | 18 | -12 |
| 2008 | 100 | 116 | После технической рекультивации | 78 | 16 | -22 |
| 2009 | 100 | 113 | После биологической рекультивации | 82 | 13 | -18 |

Прим. * ИПБС рассчитан по показателям: активность каталазы, активность дегидрогеназы, обилие бактерий рода *Azotobacter*, всхожесть редиса; ** см. табл. 1

До рекультивации ИПБС загрязненной бурой почвы отличался от ИПБС незагрязненной почвы только на 12%. Эта почва была загрязнена в меньшей степени, чем чернозем. Так как 12% близко к 10%, то более целесообразным было провести на бурой лесной почве только биологическую рекультивацию, тем более учитывая генетические свойства этой почвы, а именно, высокое содержание гумуса только в верхнем горизонте почвы.

ВЫВОДЫ

1. Для оценки эффективности рекультивации почв, загрязненных нефтью или нефтепродуктами, может быть использована методика определения интегрального показателя биологического состоя-

ния (ИПБС) почвы, рассчитанного по наиболее информативным биологическим показателям. Если значение ИПБС рекультивированной почвы и значение ИПБС незагрязненной (фоновой) почвы различаются менее чем на 10%, значит рекультивация проведена эффективно. Если различия составляют более 10%, то рекультивация не привела к должному результату. Если до рекультивации разница ИПБС между загрязненной и незагрязненной почвой составляет менее 10%, рекультивацию проводить нецелесообразно.

2. Рекультивацию чернозема слитого «Майкопского полигона» можно считать эффективной, так как разница ИПБС между фоновой и загрязненной почвами до рекультивации составляла 30%,

а после рекультивации – только 5%, что меньше 10%. При рекультивации бурой лесной почвы не следовало проводить технический этап рекультивации, чтобы вместе с мазутом не удалять верхний гумусированный слой почвы, что привело к резкому снижению ИПБС. Поскольку до рекультивации разница ИПБС между загрязненной и незагрязненной почвами составляла лишь 12%, то более целесообразным было бы ограничиться только биологической рекультивацией.

Исследование выполнено при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (14.515.11.0055), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (14.A18.21.0187, 14.A18.21.1269, 14.740.11.1029, 16.740.11.0528) и в рамках реализации Программы развития ЮФУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2012. 260 с.
2. Колесников С.И., Гайворонский В.Г., Ротина Е.Н., Жаркова М.Г., Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Результаты экспериментального изучения загрязнения бурых почв мазутом // Геоэкология. 2011. № 2. С. 183-187.
3. Колесников С.И., Гайворонский В.Г., Ротина Е.Н., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Оценка устойчивости почв Юга России к загрязнению мазутом по биологическим показателям (в условиях модельного эксперимента) // Почвоведение. 2010. № 8. С. 995-1000.
4. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1509-1514.
5. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Азнаурян Д.К., Жаркова М.Г. Биодиагностика экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Ростов-на-Дону: ЗАО Ростиздат, 2007. 192 с.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
7. Ротина Е.Н., Колесников С.И. Оценка экологического состояния загрязненных мазутом почв по биологическим показателям // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2008. № 5. С. 102-104.

1. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв:

ECOBIO TECHNOLOGY OF EFFECTIVENESS EVALUATION OF SOIL REMEDIATION USING BIOLOGICAL INDICATORS

©2013 S.I. Kolesnikov, E.N. Rotina, K.Sh. Kazeev

Southern Federal University, Rostov-na-Donu

To evaluate the effectiveness of remediation of soils contaminated with petroleum or petroleum products, it is expedient to use the method for determining the integral indicator of biological condition (IPBS) of the soil, calculated on the most informative biological indicators. If, before reclaiming the difference between the IPBS contaminated and uncontaminated (background) soil is less than 10%, it is advisable not to carry out remediation. If the value of IPBS re-cultivated soil and uncontaminated soil IPBS value differ by less than 10%, then reclamation carried out efficiently.

Keywords: soil pollution, fuel oil, reclamation, efficiency, biological properties of the soil.

Sergey Kolesnikov, Doctor of Agriculture, professor, head of department, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru; Elena Rotina, Candidate of Biology, senior researcher, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru; Kamil Kazeev, Doctor of Geography, professor, e-mail: kazeev@sfedu.ru