

**ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ, БИОТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ
НА ФОРМИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ***А. С. Заушинцев, Н. В. Скалон***INFLUENCE OF ABIOTIC, BIOTIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS
ON THE FORMATION OF BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF PLANTS***A. S. Zaushintsen, N. V. Skalon*

Приведены результаты многолетних исследований по динамике формирования биологической продуктивности травянистых растений в условиях комплексного воздействия абиотических, биотических и антропогенных факторов на биоценоз. Выявлено существенное снижение (29,5 – 61,1 %) биопродуктивности ценоза под влиянием антропогенного загрязнения почвы отработкой моторного масла. Нарастание биомассы напрямую сильно зависит от увлажнения почвы ($r = 71,3 - 88,4$) в годы с высоким поступлением летних осадков и в меньшей степени ($r = 52,4$) в засушливых условиях. Средняя положительная сила связи с наличием тепловых ресурсов ($r = 60,2 - 70,0$), которая имеет тенденцию к снижению в период сочетания высоких температур с отсутствием осадков (2012 г.). Обработка почвы биопрепаратом, деструктором углеводородов марки «Биоойл-Югра», позволил повысить биологическую продуктивность на 4,8 – 122,6 % в зависимости от концентрации загрязнителя.

The paper presents the results of long-term research on the dynamics of herbaceous plants' biological productivity formation under the complex influence of abiotic, biotic and anthropogenic factors on the biocenosis. The data reveal a significant decrease (29,5 % – 61,1 %) in the biological productivity of cenosis under the influence of anthropogenic pollution of soil with worked-off engine oil. Biomass growth directly and strongly depends on soil moisture during the summer with high sediment ($r = 71,3 - 88,4$), and to a lesser degree ($r = 52,4$) in dry conditions. The average positive dependence on thermal resources ($r = 60,2 - 70,0$), which tends to decrease during the period of the combination of high temperatures with the lack of precipitation (2012), has been revealed. Tillage with a biological product – the “Bio-oil-Yugra” destructor of hydrocarbons – allowed to increase the biological productivity by 4.8 – 122.6 %, depending on the concentration of the pollutant.

Ключевые слова: биопродуктивность, загрязнение почвы, моторное масло, биопрепарат, нефтедеструкторы, корреляция, факторы.

Keywords: biological productivity, soil pollution, motor oil, biological product, oil destructors, correlation factors.

Загрязнение природной среды нефтью и нефтепродуктами представляет экологическую опасность, так как основные элементы биосферы – почвенный и растительный покров – подвергаются деструктивному воздействию. Для живых организмов она связана с такими свойствами, как токсичность, канцерогенность, биоаккумуляция (возможность накопления токсичных компонентов в живых организмах). При загрязнении почвы увеличиваются площади техногенных ландшафтов, резко снижается биологическое разнообразие животного, растительного мира и микробиоценозов, ухудшаются качество гумусового слоя, физические, вводно-физические, биологические свойства и функции, разрушаются сложившиеся на протяжении столетий трофические цепи.

Самоочищение возможно при наличии в природной популяции микроорганизмов-деструкторов. Поскольку микробиоценоз страдает от токсического шока, их численность заметно сокращается и оно происходит медленно. По данным А. А. Зубайдулина, полностью процесс естественного разрушения нефти в условиях северных регионов заканчивается не менее, чем через 25 лет [2, с. 107]. Климат юга Западной Сибири несколько мягче, но диапазон температур в течение года также сдерживает скорость деградации загрязнителей. В последние годы техногенные потоки различных загрязняющих веществ увеличиваются, усиливается их давление на все ком-

поненты биосферы и слагающие её наземные и водные экосистемы. Загрязнение природной среды вызывает резкие ответные реакции во всех компонентах экосистем, в том числе в структуре и качестве и биопродуктивности растительного покрова.

Находясь на пересечении практически всех потоков вещества в геосистемах, почвы служат естественным фильтром и вместе с тем депонирующей средой для соединений-загрязнителей. Высокая степень чувствительности почвы к техногенным воздействиям определяет необходимость разработки приемов восстановления загрязненных земель. В настоящее время востребованы современные экологически безопасные, максимально биологизированные технологии, отвечающие требованиям международных стандартов. Приветствуются технологии биологической очистки почв от загрязнения, в основу которых входит использование живых систем. Управление процессами биодеградации нефтепродуктов направлено, прежде всего, на активизацию природных ассоциаций микроорганизмов, создание оптимальных условий их существования или дополнительное внесение штаммов-деструкторов.

Учитывая сложные химические, биохимические процессы, которые происходят в почве, важно оценить степень деградации биоценозов при возможном загрязнении природных ландшафтов углеводородными загрязнителями. Одним из критериев оценки явля-

ется биологическая продуктивность биоценоза. Этому посвящены настоящие исследования.

Цель исследований: оценка влияния абиотических, биотических и антропогенных факторов на формирование биологической продуктивности растений. Для выполнения поставлены следующие задачи:

- заложить модельный опыт по оценке биопроductивности растений в условиях загрязнения почвы отработкой моторного масла в разных концентрациях;
- определить биологическую продуктивность растительного покрова;
- выявить зависимость формирования биологической продуктивности от абиогенных, биогенных и антропогенных факторов.

Условия, материалы и методы исследований

Заложено мелкоделяночный опыт на полевом стационаре Кемеровского государственного университета. Площадь делянки составляет 3 м², буферная зона между делянками по 4 м², повторность 4-х кратная. Проведено одновременное загрязнение почвы по вариантам 1.К., 1.О., 2.К., 2.О., 3.К., 3.О. отработкой моторного масла в концентрациях 1 %, 5 % и 10 %. Через 2 дня почву на делянках вариантов 1.О., 2.О., и 3.О. полили водной суспензией микробиологического препарата-нефтедеструктора марки «Биоойл-Югра», представляющей ассоциацию штаммов *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonassp.*, *Bacillussp.* [3, с. 30]. Для объективной оценки результатов исследований на удалении от модельного полигона выделены контрольные площадки, не подверженные загрязнению и внесению микроорганизмов деструкторов углеводов.

Погодные условия в годы исследований были различными: 2010 г. характеризовался сочетанием тепла и высоким содержанием влаги в почве, 2011 г. – умеренным гидротермическим режимом, 2012 г. – острой засухой в течение мая – августа и повышенными температурами, 2013 г. – недостатком тепла, высокой увлажненностью почв. Это сильно отразилось на динамике формирования биомассы растений.

Учет биомассы растений проведен весовым методом с извлечением корневой системы из почвенного профиля с монолитом площадью верхнего сечения 0,25 м² с последующим пересчетом на воздушно-сухую массу.

Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что угнетение растительного покрова на загрязненной территории – характерный показатель токсичности нефтепродуктов. Наиболее четкими критериями оценки состояния биоценозов являются: видовой состав растений, проективное покрытие, мозаичность, фитомасса, которые могут быть использованы при оценке негативного воздействия на экологические сообщества [7, с. 24]. Вследствие ухудшения агрохимических свойств загрязнённых почв происходит задержка роста и развития растений вплоть до полной их гибели при высокой концентрации загрязнителя. Следовательно, фитопроductивность почв может быть индикаторным признаком в ответной реакции биоценоза на техногенное давление [8, с. 12]. В почве нефтепродукты увеличивают общее количество углерода, возрастает отношение углерод:азот; ухудшается азотный режим, что в случае рекультивации требует внесения повышенных доз азотных удобрений [2, с. 43]. Растения выполняют существенную роль в очистке почв от загрязнений. Посев фитомелиорационных культур имеет важное значение при применении технологии восстановления нарушенных биоценозов [1, с. 10]. Но прежде этого необходимо оценить степень выносимости естественных биоценозов к деградации.

Наблюдения за восстановлением растительного покрова в модельном опыте показали неоднозначные результаты. Выявлена тенденция в сторону увеличения биологической продуктивности растительного покрова по годам исследований в целом по всем вариантам опыта, отражается влияние таких абиотических факторов, как влагообеспеченность почвы и температурный режим окружающей среды. Так, количество биомассы к 4 году исследований на контрольном варианте (без использования загрязнителя) увеличилось на 68,9 % и составило 1907,9 г/м² с вариациями от 20,0 до 51,0 % в другие годы (табл. 1). В условиях техногенного загрязнения почвы отработкой моторного масла выявлены такая же общая закономерность по годам, статистически достоверное снижение показателя (на 29,5 – 61,1 %) по каждому из них в отдельности. Исключение составляют варианты 1.К. (2010 г.) и 2.К. (2011 г.), в которых получено на 18,6 – 22,6 % больше биомассы, чем на контроле.

Таблица 1

Влияние антропогенных и абиотических факторов на формирование биомассы травянистых растений

Варианты опыта	Годы							
	2010		2011		2012		2013	
	масса растений, г/м ²	% к контролю	масса растений, г/м ²	% к контролю	масса растений, г/м ²	% к контролю	масса растений, г/м ²	% к контролю
К общ.	608,5	–	1241,8	–	760,3	–	1907,9	–
1.К.	746,4	122,6	651,6	52,5	296,2	38,9	979,5	51,3
2.К.	418,4	68,8	1473,2	118,6	505,6	66,5	1664,7	76,4
3.К.	262,8	43,2	874,9	70,5	395,6	52,0	1105,0	57,9
НСР ₀₅	37,6	–	56,3	–	31,5	–	78,2	–

Способностью утилизировать сложные химические соединения, входящие в состав нефти и нефтепродуктов, обладают многие почвенные бактерии и грибы. Выявлено, что такая способность у бактерий обеспечивается плазмидами биодegradации [6, с. 526]. Присутствие катаболических плазмид в штаммах-деструкторах, в том числе в ризосферных псевдомонадах, увеличивает прирост биомассы и повышает степень деградации нефти [4, с. 15]. В случае утилизации углеводов принципиальное значение имеют выживаемость и конкурентоспособность микроорганизмов-деструкторов, интродуцированных в зону загрязнения. Биологический метод рекультивации почв основан на внесении препаратов, представляющих собой биомассу микроорганизмов, которые используют углеводороды в качестве источника энергии и трансформируют их в органическое вещество собственной биомассы.

В последнее десятилетие активно разрабатываются и внедряются в биологизированные технологии очистки почв от загрязнения нефтью и нефтепродуктами биопрепараты, состоящие из разных ассоциаций микроорганизмов, способных к окислению углеводов. Успешность таких разработок связана со способностью микроорганизмов к деградации широкого спектра нефтепродуктов, от длинноцепочечных алканов до полиароматических соединений. Известен достаточно широкий набор нефтедеструкторов марок отечественного производства: «Дестройл», «Путидойл», «Ленойл», «Биоойл», использующихся в технологиях рекультивации 5 – 7 и более лет. Природное микробное сообщество почвы, включающее большое количество бактерий-деструкторов, при небольших

дозах загрязнения справляется с разложением токсикантов, поэтому рациональнее создавать подходящие условия для деятельности аборигенных бактерий путем их активации элементами питания, регулирования водного и теплового режимов доступными методами. В случае обедненных микроорганизмами территорий рекомендуется адаптировать известные биопрепараты, не обладающие вредным воздействием на окружающую среду. На основании этого нами и подобран биопрепарат для исследований в условиях Западной Сибири. Он разработан сибирскими учеными [3, с. 27 – 28].

Оценка биологической массы растений на делянках, обработанных микроорганизмами-деструкторами нефтепродуктов марки «Биоойл-Югра», показала возможность эффективной ремедиации почв (табл. 2), так как превышение показателей загрязненных контрольных вариантов (1.К., 2.К., 3.К.) составило 4,8 – 120,9 % в зависимости от концентрации загрязнителя и условий года. Не выявлено эффекта в двух случаях: 2.О. (2011 г.) и 1.О. (2012 г.). С одной стороны это может быть связано с биопродуктивностью отдельных видов, имеющих менее развитый габитус и корневую систему, с другой стороны не исключены особенности взаимодействия органо-минеральных компонентов почвы с измененными микробиоценозами, либо с антоганистическими отношениями внутри них. Это требует специальных исследований с учетом комплекса других критериев оценки, включая физические, химические и биологические свойства и функции почв. Не исключено, что при меньших дозах яются и нарастание биомассы тоже.

Таблица 2

Влияние антропогенных и биотических факторов на формирование биомассы травянистых растений

Вариант опыта	Годы							
	2010		2011		2012		2013	
	масса растений, г/м ²	превыш. к контролю, %	масса растений, г/м ²	превыш. к контролю, %	масса растений, г/м ²	превыш. к контролю, %	масса растений, г/м ²	превыш. к контролю, %
1.К.	746,4	–	651,6	–	296,2	–	979,5	–
1.О.	902,4	120,9	1705,6	38,3	232,2	- 21,6	1446,5	47,8
2.К.	418,4	–	1473,2	–	505,6	–	1464,7	–
2.О.	771,2	84,3	1313,1	- 11,9	639,8	26,5	1896,8	29,5
3.К.	262,8	–	874,9	–	395,6	–	1105,0	–
3.О.	574,8	118,7	1229,8	40,6	414,4	4,8	1297,2	17,4
НСР ₀₅	42,7	–	74,3	–	36,4	–	77,6	–

Биоремедиация загрязненных территорий почвы включает элементы технологии, направленные на восстановление их продуктивности, хозяйственной и экологической ценности, а также на улучшение состояния окружающей среды. Для выбора использования того или иного метода очистки следует руководствоваться такими критериями, как природно-климатические и ландшафтные условия, значимость земель, тип почвы и его окультуренность, направление использования, уровень грунтовых вод и гидроло-

гический, тепловой режимы и другие характеристики. Поэтому в наших исследованиях очень важно оценить степень зависимости формирования биомассы растений от абиотических и антропогенных факторов. Это позволит прогнозировать возможные риски и эффективность использования приемов биоремедиации почв. В обычные и увлажненные годы отмечена сильная положительная корреляция ($r = 71,3 - 88,4$) биомассы растений с количеством осадков (табл. 3).

Зависимость формирования биомассы растений от абиотических и антропогенных факторов

Корреляционные связи	Коэффициент корреляции ($R \pm Sr$)			
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Биомасса растений – количество осадков	71,3 ± 8,5	75,0 ± 9,6	52,4 ± 10,7	88,4 ± 13,3
Биомасса растений – среднемесячная температура воздуха	63,7 ± 6,7	60,2 ± 11,3	- 3,5 ± 0,2	70,0 ± 10,9
Биомасса растений – концентрация загрязнителя	-83,4 ± 9,1	-77,4 ± 9,8	-75,1 ± 8,5	-74,7 ± 10,2

В период недостаточного увлажнения или засухи (2012 г.) сила связи сильно ослабевает. Средняя сила связи продуктивности ($r = 60,2 - 70,0$) отмечена во все годы исследований с температурным режимом, за исключением 2012 г. ($r = -3,5$). Подтверждено, что с повышением концентрации нефтепродукта значительно и достоверно снижается продуктивность биоценоза ($r = -74,7 - 83,4$). Это свидетельствует о необходимости принятия мер по очистке почв от нефтепродуктов за счет стимуляции работы почвенного микробиоценоза. Проблема загрязнения почв и их очистка от токсикантов остается актуальной. Для этого необходимо разрабатывать технологии нового поколения, которые могут включать разные взаимодополняющие способы и приемы, эффективность которых сама по себе различна, но в комплексе может обеспечить высокую от-

дачу. Также необходим индивидуальный подход к решению проблемы в каждом конкретном случае, позволяющий учесть все особенности ландшафтов, климата, почвенных разностей, включая плодородие.

Выводы

1. На формирование биомассы растительного покрова существенное влияние оказывают абиотические, биотические и антропогенные факторы: гидро-термический режим, микроорганизмы – нефтедеструкторы, углеводородные загрязнители почв.

2. Использование микроорганизмов в биотехнологиях по очистке почв способствует повышению биомассы растений на 4,8 – 120,9 % в зависимости от концентрации загрязнителя.

Литература

1. Восстановление земель на Крайнем Севере / ред. И. Б. Арчегова // Коми научный центр УрО РАН. – Сыктывкар, 2000. – 152 с.
2. Зубайдуллин, А. А. К вопросу рекультивации нефтезагрязненных земель на верховых болотах / А. А. Зубайдуллин // Биологические ресурсы и природопользование: сборник научных трудов. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. пед. ин-та, 1998. – Вып. 2.
3. Ассоциация штаммов бактерий-нефтедеструкторов для ремедиации нефтезагрязненных территорий / А. В. Мокеева [и др.] // Вестник НГУ. – 2011. – Т. 9. – Вып. 3. – (Серия: Биология, клиническая медицина).
4. Плешакова, Е. В. Деграция минерального масла штаммом *Acinetobacter calcoaceticus* / Е. В. Плешакова, А. Ю. Муратова, О. В. Турковская // Прикл. биохим. и микробиол. – 2001. – Т. 37. – № 4.
5. Фахрутдинов, А. И. Микробиологическая и ферментативная активность почв и грунтов при рекультивации нефтезагрязненных территорий: автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. И. Фахрутдинов. – СПб., 2005. – 20 с.
6. Филонов, А. Е. Конструирование и мониторинг маркированных плазмидосодержащих штаммов-деструкторов нафталина в почве / А. Е. Филонов // Микробиология. – 2005. – Т. 74. – № 4.
7. Хотеев, В. В. Формирование растительности на нефтезагрязненных территориях различных почвенно-климатических зон Тюменской области: дис. ... канд. биол. наук / В. В. Хотеев. – Тюмень, 2002. – 182 с.
8. Шайдуллина, И. А. Нормирование и минимизация образования и опасности нефтезагрязненных почв для природной среды (на примере ОАО «Татнефть»): дис. ... канд. хим. наук / И. А. Шайдуллина. – Казань, 2006. – 137 с.

Информация об авторах:

Заушинцев Антон Сергеевич – аспирант кафедры зоологии и экологии КемГУ, 8-923-608-95-63, 8-923-606-38-85.

Anton S. Zaushintsen – post-graduate student the department of zoology and ecology Kemerovo State University.

Скалон Николай Васильевич – научный руководитель, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии и экологии КемГУ, 8 (384-2)-58-07-46,

Nikolay V. Skalon – research advisor, Doctor of Pedagogics, Professor, Head of the Department of Zoology and Ecology, Kemerovo State University.