

**ФИТОИНДИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ В ЗОНЕ
ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ
(НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОГО ПОЛИГОНА)**

А. П. Гусев

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины (г. Гомель)

Поступила в редакцию 13 мая 2016 г.

Аннотация: целью наших исследований являлось изучение возможности использования фитоиндикации для мониторинга техногенного подтопления вблизи техногенных объектов. Объект исследования – растительность зоны влияния полигона твердых коммунальных отходов (Гомельский район, Белоруссия). В зоне подтопления погибло 45% деревьев, индекс жизненного состояния древостоя уменьшился в 7 раз, произошла смены лесной растительности на луговые и рудеральные сообщества. В период 2006-2015 гг. зона подтопления увеличилась в 2,1 раза, площадь участков с погибшей растительностью в 7,2 раза. Диагностическими критериями процесса подтопления при использовании дистанционных методов являются смены типов растительности и изменение структуры растительного покрова.

Ключевые слова: фитоиндикация, растительный покров, подтопление, полигон коммунальных отходов, загрязнение, состояние древостоя.

**PHYTOINDICATION OF TECHNOGENIC FLOODING IN THE IMPACT ZONE OF DUMP OF
MUNICIPAL WASTES (ON AN EXAMPLE OF THE GOMEL DUMP)**

Abstract: The purpose of our researches was studying of possibility of application of phytoindication at monitoring of technogenic flooding. Object of research – vegetation of a zone of influence of dump of a municipal waste (the Gomel area, Belarus). In a flooding zone 45 % of trees were lost, the index of a vital condition of a forest stand decreases in 7 times, there were changes of wood vegetation on meadow and ruderal communities. In 2006-2015 the flooding zone has increased in 2,1 times, the area of sites with the lost vegetation in 7,2 times. Diagnostic criteria of process of flooding at use of remote methods are changes of types of vegetation and change of structure of a plant cover.

Key words: phytoindication, plant cover, flooding, dump of a municipal waste, pollution, condition of stand.

Введение

В настоящее время одним из эффективных геоэкологических методов является фитоиндикация, т.е. оценка среды по растениям и их сообществам. Фитоиндикация активно используется для оценки экологического состояния окружающей среды, для картографирования и мониторинга антропогенных нарушений. Имеются разработки фитоиндикационных методов, направленных на изучение загрязнения компонентов окружающей среды – атмосферного воздуха, почв, подземных вод [1, 2, 3].

Фитоиндикация применяется для изучения экзогенных геологических процессов, как природных, так и техногенных [4, 5]. Так, например, фитоиндикация может использоваться при оценке и картографировании такого опасного техногенного процесса, как подтопление, т.е. направленного повышения влажности грунтов, вызванного подъемом уровня грунтовых вод [6].

Физиономические свойства растительного покрова позволяют широко использовать дистанционные ме-

тоды – космо- и аэросъемки. Изучение связи между экологическими процессами и растительностью лежит в основе интерпретации материалов дистанционного зондирования [7, 8].

Целью наших исследований являлось использование фитоиндикации для мониторинга техногенного подтопления загрязненными грунтовыми водами в зоне влияния полигона твердых коммунальных отходов (ТКО). Задачи: изучение гидрогеологических и геохимических условий в зоне влияния полигона; геоботаническая съемка; оценка состояния древостоя; выявление индикаторных признаков подтопления; изучение динамики растительного покрова в 2006–2015 гг.; пространственный анализ и оценка процесса подтопления по фитоиндикаторам.

Материалы и методы исследования

Район исследований находится на юго-востоке Белоруссии (окрестности города Гомеля). Климатические особенности района исследований: средняя температу-

ра самого холодного месяца (январь) – -7°C ; средняя температура самого теплого месяца (июль) – $+18,5^{\circ}\text{C}$; годовая сумма температур выше 10° – более 2500 градусов; годовое количество осадков – около 600 мм; коэффициент увлажнения – 1,3. По гидротермическим показателям территория относится к суббореальным гумидным (широколиственно-лесным) ландшафтам.

Объект исследования – растительность зоны влияния полигона твердых коммунальных отходов (ТКО), расположенного вблизи н.п. Уза (Гомельский район). Полигон ТКО эксплуатируется с 1969 года. Площадь, занятая твердыми коммунальными отходами, составляет около 12 га; высота отвалов 10–15 м; объем накопившихся отходов более 1 млн. м^3 ; годовое поступление отходов – более 80 тысяч тонн.

Для изучения процесса подтопления загрязненными водами в зоне влияния полигона методом фитоиндикации выполнялась геоботаническая съемка на пробных площадках по общепринятым методикам (размер пробной площадки 10×10 м). Оценка жизненного состояния деревьев выполнялась по следующей шкале:

I – здоровые (без признаков ослабления) – деревья без внешних признаков повреждения, поврежденные листья и хвоя, нормальная кора;

II – ослабленные – деревья с отдельными сухими скелетными ветвями (до 10 %), с внешними признаками незначительных механических повреждений;

III – сильно ослабленные деревья, имеющие снижение плотности кроны до 50 процентов (за счет дефолиации и сухих ветвей), повреждение листовых пластинок (хвой) патогенами, насекомыми, или поллютантами (хлорозы, некрозы), трещиноватую кору, умеренные механические повреждения;

IV – усыхающие деревья, крона усохла на 50 и более процентов (за счет сухих ветвей и дефолиации), большое повреждение ассимиляционного аппарата, сильно трещиноватая кора, значительные механические повреждения;

V – свежий сухостой (текущего года) – крона усохла полностью (более 75 процентов сухих ветвей, листья или хвоя большей частью опавшие); сильные механические повреждения;

VI – старый сухостой (прошлых лет) – крона и ствол засохшие, кора отслаивается или отсутствует.

Оценка состояния древостоя на ключевом участке выполнялась путем расчета индекса состояния древостоя по формуле: $L_n = (100 \cdot n_1 + 70 \cdot n_2 + 40 \cdot n_3 + 5 \cdot n_4) / N$, где n_1 – количество здоровых деревьев; n_2 – количество ослабленных деревьев; n_3 – количество сильно ослабленных деревьев; n_4 – количество усыхающих деревьев; N – общее количество деревьев (включая сухостой).

Древостои с индексом состояния 90-100 относятся к категории «здоровые», 80-89 – «здоровые с признаками ослабления», 70-79 – «ослабленные», 50-69 – «поврежденные», 20-49 – «сильно поврежденные», менее 20 – «разрушенные».

Для составления карт растительного покрова на двух временных срезах (2006 и 2015) использовались данные космического сканирования (Landsat 7, 8) и

материалы Google Earth, результаты полевых исследований. Дешифрирование космоснимков выполнялось визуальным методом, позволяющим учитывать всю совокупность прямых и косвенных дешифровочных признаков. Для привязки и оцифровка растров использовалась Quantum GIS 2.6.0.

Результаты и их обсуждение

Полигоны захоронения коммунальных отходов представляют собой природно-техногенную систему, воздействующую на окружающий ландшафт и его компоненты: геологическую среду, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, биоту. Влияние полигона на окружающую среду обусловлено образующимся при деструкции коммунальных отходов биогазом, фильтрационными водами (фильтратом), формированием техногенных свалочных грунтов. Фильтрат образуется в результате инфильтрации атмосферных осадков через массив отходов, отжимных вод и процессов биодеструкции отходов, сопровождающихся образованием воды. Фильтрат является высококонцентрированным, содержащим токсичные элементы, раствором [9, 10].

Интенсивное впитывание дождевых и талых вод в толщу отходов и обогащение их выщелоченными компонентами приводит к образованию фильтрата, который проникает в поверхностные и грунтовые воды. Приток фильтрата вызывает поднятие уровня грунтовых вод, формирование техногенной верховодки и ее разгрузки в бортах отвалов, развитие болезнетворных микроорганизмов, повышение агрессивности вод, изменению газового режима вод, снижению в них концентрации растворенного кислорода [9, 10].

Грунтовый водоносный горизонт в зоне влияния полигона ТКО включает воды современных и четвертичных отложений. Водовмещающие отложения – песчаные разности аллювиальных образований надпойменных террас и водно-ледниковых отложений. Пески мелко- и тонкозернистые, реже среднезернистые, с прослоями супесей, реже суглинков, с незначительным содержанием мелкой гальки и гравия. Мощность в зоне влияния полигона ТКО составляет 3-7 м. Грунтовые воды безнапорные. Коэффициент фильтрации составляет: для песков тонкозернистых – 0,1–1,3 м/сутки, мелкозернистых – 0,7–9,5 м/сутки, среднезернистых – 3,3–7,2 м/сутки. Коэффициент водопроводимости 0,2–5,0 $\text{м}^2/\text{сутки}$.

Абсолютные отметки уровня грунтовых вод в зоне влияния полигона ТКО составляют 120–127 м. Грунтовые воды располагаются на глубине 0,3–2,8 м. Питание грунтовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, техногенных стоков и разгрузки напорных вод. Химический состав их сильно варьирует в зависимости от расположения источников поверхностного загрязнения. Дренируются грунтовые воды современной гидрографической сетью, которая в настоящее время почти полностью канализирована и дополнена густой сетью мелиоративных каналов.

Экологическая незащищенность грунтовых вод в

районе исследований обусловлена песчаным составом зоны аэрации и грунтового водоносного горизонта, характеризующегося высокими значениями коэффициента фильтрации и отсутствием изолирующих водоупорных пород. Усугубляется ситуация рядом факторов: а) при устройстве полигона не была произведена обваловка, б) не был оборудован противодиффузионный экран, в) во время весенних паводков юго-восточная часть территории полигона частично затопляется, г) нарушение поверхностного и подземного стока техническими сооружениями привело к развитию процесса подтопления в северной части территории полигона.

В зоне влияния полигона ТКО минерализация грунтовых вод составляет 3–10 г/дм³. Основная часть солей – ион натрия (1,15–8,45 г/дм³), гидрокарбонат-ион (1,89–3,8 г/дм³), ион калия (0,33–0,92 г/дм³), ион хлора (0,014–3,6 г/дм³). Содержание железа общего составляло 1,29–56,7 мг/дм³, иона аммония – 0,25–30,0 мг/дм³. В отдельных скважинах отмечается нитратное загрязнение грунтовых вод. Значение pH – от 7,4 до 8,5 единицы. Химический состав – хлоридно-натриево-гидрокарбонатный. Такое загрязнение по составу и величине типично для полигонов коммунально-бытовых отходов [9, 10]. В почвах отмечается загрязнение свинцом (в 2–20 раз выше фонового значения для почв Беларуси), кадмием (в 4–28 раз выше фона), ртутью (в 2–22 раза выше фона), никелем (2–3 разы выше фона), марганцем (в 1,5–3 раза выше фона).

На территории, прилегающей с севера к полигону ТКО, развивается зона техногенного подтопления, обусловленного нарушением поверхностного стока при строительстве автомобильной трассы Гомель-Речица, системы очистных сооружений и полигона твердых отходов. Нарушение гидрогеологического режима местности выражается в подъеме уровня грунтовых вод к земной поверхности (в весенний период имеет место даже выход грунтовых вод на земную поверхность).

Подтопление загрязненными грунтовыми водами индицируется нарушениями окружающих лесных экосистем. Реакцией на подтопление является изменение видового состава растительности и деградация деревьев. Жизненное состояние деревьев чутко реагирует на изменение уровня подземных вод. При подтоплении лесных экосистем, прежде всего, происходит усыхание деревьев, наиболее чувствительных к смене водного режима. В табл. 1 приведены результаты исследований, проведенных в зоне подтопления лесного

массива, расположенного вблизи полигона ТКО.

Лесные экосистемы, расположенные вне зоны подтопления, представлены мелколиственными и широколиственными лесами снытевого типа на дерново-слабоподзолистых глееватых почвах, имеющих преимущественно супесчаный состав. Глубина залегания уровня грунтовых вод составляет 1,2–1,5 м. Индекс жизненного состояния древостоя составляет более 90, т.е. древостой относится к категории «здоровый». В фитосоциологическом составе преобладают виды, относящиеся к классу *Querco-Fagetea Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937* (мезофитные и мезоксерофитные широколиственные листопадные леса) по эколого-флористической классификации Браун-Бланке [11].

Подъем уровня грунтовых вод на 0,5–1 м привел к массовому усыханию древостоя. В зоне подтопления усохло 45 % деревьев *Carpinus betulus* L., 33 % – *Betula pendula* Roth, 40 % – *Fraxinus excelsior* L., 100 % – *Quercus robur* L.. Произошла деградация подлеска из *Corylus avellana* L. (усохло до 80 %).

Индекс жизненного состояния древостоя уменьшается в 7 раз (до категории «разрушенный»).

В местах полной деградации древостоя (сомкнутость – менее 10 %) типичные лесные травы (*Aegopodium podagraria* L., *Geum urbanum* L., *Asarum europaeum* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Oxalis acetosella* L.) сменяются лугово-болотными – осоки (*Carex* sp.), рогоза широколиственным (*Typha latifolia* L.), таволгой вязолистной (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), камышом лесным (*Scirpus sylvaticus* L.), тростником обыкновенным (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), вербейником обыкновенным (*Lysimachia vulgaris* L.), дербенником иволиственным (*Lythrum salicaria* L.) и т.д.

За счет деградации древостоя увеличилась освещенность нижних ярусов, что обусловило возможность проникновения в нарушенную экосистему рудеральных видов – череды трехраздельной (*Bidens tripartita* L.), золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.), бодяка полевого (*Cirsium arvense* (L.) Scop.).

Соответственно, доля видов класса *Querco-Fagetea Br.-Bl. et Vlieger in Vlieger 1937* уменьшается; возрастает удельный вес видов класса *Chenopodietea Br.-Bl. 1952 em. Lohm. J. et R.Tx. 1961 ex Matusz. 1962* (рудеральные и сеgetальные сообщества однолетников) и класса *Molinio-Arrhenatheretea R.Tx. 1937 em. R.Tx. 1970* (луга умеренной зоны Евразии на месте широко

Таблица 1

Фитоиндикаторы подтопления лесных экосистем в районе полигона ТКО

Показатель	Подтопленные леса	Фоновые леса	
		Березняк снытевый	Дубрава снытевая
Состояние древостоя			
Возраст древостоя	80	50	100
Индекс жизненного состояния (L_n)	12,7	91,0	97,0
Сухостой (V и VI классы состояния), %	47,0	0	0
Фитосоциологические группы, в % от общего числа видов			
<i>Chenopodietea</i> (синантропные сообщества)	16,2	0	0
<i>Molinio-Arrhenatheretea</i> (луговые сообщества)	24,3	0	0
<i>Querco-Fagetea</i> (сообщества широколиственных лесов)	29,7	86,7	69,6

лиственных лесов) по эколого-флористической классификации Браун-Бланке.

Вблизи небольших водоемов (максимальное загрязнение – минерализация 5–10 г/дм³), образовавшихся за счет выхода грунтовых вод на земную поверхность, растительный покров формируют только рудеральные травы – полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.), куриное просо обыкновенное (*Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv.). По мере приближения к водоемам травостой усыхает (до 80–90 %).

Анализ космоснимков показывает, что зона подтопления визуальнo дешифрируются по смене лесной растительности на луговую и рудеральную (смена темно-зеленого цвета на светло-зеленый), а затем участками с погибшей растительностью (бурый цвет) и водоемами (черный цвет).

Полный ряд по градиенту подтопления имеет вид: сомкнутый лиственный лес (снyтевого типа); разреженный лиственный лес (осокового типа); заболоченный луг с единичными деревьями; рудеральные группировки; погибшая растительность (сухая) и водоемы без растительности.

Для двух временных срезов (2006 и 2015 гг.) были построены карты растительного покрова полигона ТКО и его зоны влияния. В табл. 2 приведена динамика растительного покрова в пределах полигона ТКО и его зоны влияния.

Таблица 2

Динамика растительного покрова полигона ТКО и его зоны влияния в 2006–2015 гг.

Тип растительного покрова	Временной срез	
	2006	2015
Отвалы ТКО и отстойники очистных сооружений, га	38,92	51,58
Зона подтопления		
Водоемы, га	0,50	1,48
Погибшая растительность, га	0,55	3,98
Заболоченные луга и рудеральные группировки, га	7,23	10,33
Разреженный лес, га	3,42	8,80
Сомкнутый лес, га	23,7	11,41

Видно, что в 2006 г. зона подтопления охватывала 11,7 га (водоемы, участки с погибшей растительностью, заболоченные луга, разреженный лес). В 2006 г. леса без признаков деградации занимали 65,8 % от всего участка. Древесный ярус отсутствовал на 23 % территории.

В 2015 г. деградация лесного покрова наблюдалась на площади 24,59 га, т.е. за девять лет площадь подтопления увеличилась в 2,1 раза. Площадь водоемов возросла в 3 раза, а площадь участков с погибшей растительностью – в 7,2 раза. В 2015 г. сомкнутые

леса занимали только 32 % площади. Древесный ярус полностью разрушен на 44 % площади.

Заключение

Фитоиндикация при мониторинге геологической среды в зоне влияния экологически опасных объектов требует использования как наземных, так дистанционных методы изучения растительного покрова. Наземные методы позволяют оценить техногенные нарушения и их экологические последствия, выявить механизмы изменения компонентов геосреды.

Диагностическими критериями процесса подтопления при проведении наземных наблюдений могут служить состояние древостоя (усыхание и деградация деревьев) и видовой состав растительности (смена лесных видов на болотно-луговые и болотно-рудеральные виды). Диагностическими критериями процесса развития подтопления при использовании дистанционных методов служат смены типов растительности и изменение структуры растительного покрова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем / под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир. – 1988. – 350 с.
2. Гусев, А.П. Фитоиндикаторы трансформации природного ландшафта в зоне нефтедобычи (на примере юго-востока Белоруссии) / А.П. Гусев // География и природные ресурсы, 2007. – № 2. – С. 177–183.
3. Гусев, А.П. Индикаторы деградации лесных ландшафтов Белорусского Полесья в зоне влияния химического производства / А.П. Гусев // География и природные ресурсы, 2005. – № 4. – С. 145–147.
4. Корженевский, В.В. Фитоиндикация рельефообразования и опыт ее применения / В.В. Корженевский, А.А. Квитницкая // Бюллетень Никитского ботанического сада, 2011. – Вып. 100. – С. 5–28.
5. Гусев, А.П. Фитоиндикаторы инженерно-геологических процессов на территории города / А.П. Гусев // Природные ресурсы, 2006. – № 3. – С. 33–40.
6. Гусев, А.П. Фитоиндикаторы техногенного подтопления в зоне влияния полигона промышленных отходов / А.П. Гусев // Вестн. Воронеж. госуд. ун-та. Сер.: Геология. – 2015. – № 1. – С. 128–131.
7. Виноградов, Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
8. Гусев, А.П. Динамика растительности как индикатор ландшафтно-экологической ситуации // Природные ресурсы, 2015. – № 2. – С. 117–124.
9. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д.М. Ерошина, В.В. Ходин, В.С. Зубрицкий, А.Л. Демидов. – Минск: «БелНИЦЭкология». – 2010. – 152 с.
10. Гуман, О.М. Полигоны бытовых и промышленных отходов Свердловской области / О.М. Гуман – Екатеринбург: «Полиграфист». – 2008. – 176 с.
11. Braun-Blanquet, J. Pflanzensoziologie. – Wien-New York: Springer-Verlag, 1964. – 865 s.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель

Гусев Андрей Петрович, доцент кафедры экологии, кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: andi_gusev@mail.ru; Тел.: +7 (0232) 57-00-33

Francisk Skorina Gomel State University

Gusev A. P., Associate Professor of the Ecology Chair, Candidate of Geology-Mineralogical Science
E-mail: andi_gusev@mail.ru; Тел.: +7 (0232) 57-00-33