

## ФИТОИНДИКАТОРЫ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

А. П. Гусев

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

Поступила в редакцию 17 ноября 2014 г.

**Аннотация:** целью наших исследований являлось изучение возможности применения фитоиндикаторов при мониторинге техногенного подтопления. Установлены закономерные изменения проективного покрытия, видового богатства, видового состава по градиенту подтопления. Для изучения подтопления апробированы фитоиндикационные шкалы Цыганова и Элленберга. Фитоиндикационные шкалы позволяют диагностировать как процесс подтопления (т.е. увеличение влажности почвогрунтов), так и процесс химического загрязнения почвогрунтов (засоление).

**Ключевые слова:** фитоиндикаторы, растительность, подтопление, полигон отходов, загрязнение, фитоиндикационные шкалы

### PHYTOINDICATORS OF TECHNOGENIC FLOODING IN THE IMPACT ZONE OF DUMP OF INDUSTRIAL WASTES

**Abstract:** the purpose of our researches was studying of possibility of application of phytoindicators at monitoring of technogenic flooding. Changes of a projective covering, specific riches, specific structure on a flooding gradient are established. For flooding studying Ellenberg's and Tsyganov's phytoindicator scales are approved. Phytoindicator scales allow to diagnose as flooding process (i.e. humidity increase soils), and process of chemical pollution soils (salinization).

**Key words:** phytoindicators, vegetation, flooding, dump of a waste, pollution, phytoindicator scales

#### Введение

Широко распространенным в техногенных ландшафтах геологическим процессом является подтопление – направленное повышение влажности грунтов, вызванное подъемом уровня грунтовых вод. Острота возникающих при подтоплении проблем возрастает в крупных городах, в промышленных зонах, на территории экологически опасных объектов. Подтопление – это многофакторный процесс, осложняющий хозяйственное использование территории, действие которого приводит к экологическим, экономическим и социальным потерям. Все это обуславливает необходимость разработки методов, позволяющих эффективно диагностировать зоны развития процессов подтопления, в том числе, методов, не требующих бурения, шурфования и других работ, часто невыполнимых в условиях техногенного ландшафта (например, на промплощадке предприятия). Таким методом является фитоиндикация, основанная на способности растительности отражать условия геологической среды [1]. Современные геологические процессы и явления часто проявляются в структуре и динамике растительного покрова, в сукцессиях растительности. Ряд показателей сложно определить непосредственными измерениями (например, влажность почвогрунтов и ее динамику). В этом случае эффективно используют фитоиндикаторы. При фитоиндикации фактор оценивается в небольшом числе градаций (классов), кото-

рые, тем не менее, имеют высокую экологическую информативность [1–3].

Целью наших исследований являлось изучение возможности применения фитоиндикаторов при мониторинге техногенного подтопления. Задачи: геоботаническая съемка по градиенту воздействия; сопряженный анализ геоботанических и геохимических данных; выявление изменений проективного покрытия, видового богатства, видового состава растительности в зоне подтопления.

#### Материалы и методы исследования

Район исследований находится на юго-востоке Белоруссии. Климатические особенности района исследований: средняя температура самого холодного месяца (январь) –  $-7^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура самого теплого месяца (июль) –  $+18,5^{\circ}\text{C}$ ; годовая сумма температур выше  $10^{\circ}$  – 2400-2500 градусов; годовое количество осадков – 630 мм; коэффициент увлажнения – 1,3. По гидротермическим показателям территория относится к суббореальным гумидным (широколиственно-лесным) ландшафтам.

Объект исследований – полигон твердых отходов Гомельского химического завода (ГХЗ). ГХЗ – одно из крупнейших предприятий химической промышленности Белоруссии, которое производит более 20 видов химической продукции (серная и фосфорная кислоты, аммофос, суперфосфат, азотно-фосфорно-

калийные удобрения, фтористый алюминий и т.д.). На предприятии применяется технология обработки апатитового концентрата, обуславливающая образование твердых фосфогипсовых отходов, которые складировались на территории промплощадки завода. В настоящее время накоплено более 17 млн т. отходов, которые занимают территорию около 100 га. Фосфогипс в отвалах содержит до 40 % влаги; в его составе около 97 % составляет гипс и 3 % - фосфаты железа и алюминия, ортофосфорная кислота, фторсиликаты калия и натрия, фториды кальция. Отвалы фосфогипса являются постоянно действующим источником поступления загрязняющих веществ в поверхностные и грунтовые воды, почвогрунты. Вследствие нарушения естественного стока в пределах отвалов и в зоне их влияния развиваются процессы подтопления [4, 5].

Для изучения процесса подтопления загрязненными водами в зоне влияния отвалов фосфогипса выполнялась геоботаническая съемка на пробных площадках по общепринятым методикам (размер пробной площадки 10x10 м) [2]. Всего в зоне подтопления и вне ее заложены 16 пробных площадок. Проектное покрытие определялось по 5-бальной шкале: + меньше 1 %, 1 – менее 5 %, 2 – 6-15 %, 3 – 16-25 %, 4 – 26-50 %, 5 – более 50 % [2].

Для оценки изменений характеристик почвогрунтов использовались фитоиндикационные шкалы Д.Н. Цыганова [3] и Х. Элленберга [6]. Балловые оценки рассчитывались для каждого геоботанического описания. При использовании шкал Д.Н. Цыганова расчет выполнялся методом средневзвешенной середины интервала.

### Результаты и их обсуждение

Полигон фосфогипсовых отходов, даже среди других техногенных ландшафтов, выделяется особой «безжизненностью». Главная причина этой «безжизненности» – токсичная среда: грунты, поверхностные и подземные воды вблизи отвалов фосфогипса имеют высокую минерализацию и очень низкий pH. Формирования растительного покрова на отвалах длится несколько десятилетий. После того, как фосфогипс теряет влагу, выветривается, токсичность субстрата снижается и на его поверхности появляются растения-пионеры. Такими пионерами являются вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium* (L.) Scop.) и другие [4].

Анализ картографического материала (военно-топографическая карта Могилевской губернии 3 версты в 1 дюйме 1866 г., топографические карты Генерального штаба Красной Армии 1:100000–1:200000 1923–1929 гг.) показал, что в районе исследований (отвалы фосфогипса и зона их влияния) болота и заболоченные места отсутствовали. Развитие заболочивания и подтопления произошло на этой территории в более позднее время, т.е. после создания техногенных объектов (1960-е гг.), сопровождаемого преобразованиями рельефа и нарушением поверхностного стока. К началу 2000-х гг. уровень грунтовых вод повысился на 0,5–2,0 м за счет техногенной составляющей ин-

фильтрационного питания (утечки из водонесущих коммуникаций, отжатие воды из отвалов фосфогипса, изменение условий поверхностного и подземного стока). Значительный экологический риск этого процесса обусловлен тем, что грунтовые воды имеют высокий уровень химического загрязнения и коррозионной агрессивности.

Подтопление загрязненными водами изучалось на примере водоема, являющегося приемником поверхностного и грунтового стока с отвалов фосфогипса. В 2008–2011 гг. общая минерализация вод здесь составляла 6,5–9,8 г/дм<sup>3</sup> (содержание сульфат-иона – 3,2–4,1 г/дм<sup>3</sup>; фосфора фосфатного – 1,5–2,1 г/дм<sup>3</sup>; фтор-иона – 0,22–0,35 г/дм<sup>3</sup>; азота аммонийного – 3–23 мг/дм<sup>3</sup>; иона алюминия – 60–78 мг/дм<sup>3</sup>). Воды характеризуются крайне кислой реакцией (pH=2,07–2,35).

Водная растительность (погруженные и наводные гидрофиты) здесь отсутствуют полностью. Прибрежно-водная растительность представлена угнетенными рогозово-тростниковыми группировками, распространенными мозаично. Видовой состав отличается низким разнообразием (всего отмечено 6 видов). По берегам наиболее крупного водоема (глубина – до 1,5 м) локально отмечаются ивовые заросли с примесью березы повислой. Характерной особенностью этих ивово-березовых зарослей является их угнетенное состояние – 40–80 % сухостой.

В период увеличения поверхностного стока имеет место подтопление луговых и кустарниковых экосистем, примыкающих к водоему. По степени воздействия подтопления загрязненными водами на луговые экосистемы выделены три участка: 1 – сильной трансформации; 2 – средней трансформации; 3 – слабой трансформации (табл. 1). Соответственно все описания растительности были разделены на три группы. Для каждой группы описаний получены средние значения проективного покрытия (в %), видового разнообразия (число видов на 100 м<sup>2</sup>), фитоиндикационных шкал (влажности, азотного богатства, кислотно-щелочных условий, солевого богатства).

В почвогрунтах, подтопленных загрязненными водами, отмечается увеличение минерализации (в 7 раз по сравнению с фоном), содержания сульфат-иона (в 8,3 раза), содержания фосфора фосфатного (в 53,4 раза), содержания азота аммонийного (в 10,3 раза), содержания иона алюминия (в 5 раз). Снижается pH (в 1,5 раза) (табл. 1).

Растительный покров лугов, расположенных вне зоны подтопления, имеет проективное покрытие 80–85 % и формируется многолетними травами и злаками, среди которых преобладают лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.), полевица тонкая (*Agrostis tenuis* Sibth.), тимopheвка луговая (*Phleum pratense* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), люцерна хмелевая (*Medicago lupulina* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* F.H. Wigg.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) и другие (табл. 2).

Таблица 1

Участки трансформации луговой экосистемы по степени воздействия подтопления загрязненными водами

Показатель	Градиент подтопления		
	1	2	3
<b>Фитоиндикаторы</b>			
Общее проективное покрытие, %	35,0* 10– 50**	60,0 30– 80	90,0 75– 100
Видовое богатство, видов на 100 м <sup>2</sup>	6,5 3– 10	13,5 9– 16	15,1 10– 19
Влажность по шкале Д. Н. Цыганова (Hd)	13,76 13,51– 14,00	13,05 12,66– 13,85	12,21 11,50– 13,10
Влажность по шкале Х. Эллэнберга (F)	6,73 6,52– 6,98	6,44 6,14– 6,69	5,53 4,95– 5,85
Азотное богатство по шкале Д. Н. Цыганова (Nt)	6,82 6,55– 7,14	6,19 6,01– 6,38	6,09 5,80– 6,24
Азотное богатство по шкале Х. Эллэнберга (N)	6,50 6,32– 6,71	5,77 5,50– 6,10	5,75 5,55– 6,00
Кислотно-щелочные условия по шкале Д. Н. Цыганова (Rc)	6,07 5,78– 6,35	6,70 6,51– 6,86	6,89 6,72– 6,95
Кислотно-щелочные условия по шкале Х. Эллэнберга (R)	4,50 4,20– 4,81	5,45 4,99– 5,84	5,76 5,15– 6,39
Солевое богатство по шкале Х. Эллэнберга (S)	0,59 0,49– 0,78	0,50 0,32– 0,63	0,29 0,00– 0,40
<b>Геохимические показатели почвогрунтов</b>			
pH	4,67	5,80	6,98
Сульфат-ион, мг/дм <sup>3</sup>	553,4	137,7	67,2
Азот аммонийный, мг/дм <sup>3</sup>	4,1	0,9	0,4
Фосфор фосфатный, мг/дм <sup>3</sup>	74,8	2,6	1,4
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	1327,5	302,0	189,0
Глубина залегания грунтовых вод, м	0,2– 0,5	0,5– 1,5	>1,5

Примечание: \* - среднее значение; \*\* - минимальное и максимальное значение

Таблица 2

Изменение видового состава растительности по градиенту подтопления (покрытие в баллах)

	Градиент подтопления		
	1	2	3
<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Holub	2	1	–
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	1	2	2
<i>Lythrum salicaria</i> L.	1	1	–
<i>Rumex crispus</i> L.	1	1	–
<i>Bidens tripartita</i> L.	1	–	–
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	3	1	–
<i>Poa pratensis</i> L.	–	1	3
<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.	–	1	2
<i>Potentilla anserina</i> L.	1	3	2
<i>Vicia cracca</i> L.	–	–	1
<i>Phleum pratense</i> L.	–	–	1
<i>Festuca pratensis</i> Huds.	–	–	2
<i>Dactylis glomerata</i> L.	–	–	2
<i>Achillea millefolium</i> L.	–	–	2
<i>Plantago major</i> L.	–	–	1
<i>Polygonum aviculare</i> L.	–	–	1
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	1	2	2
<i>Medicago lupulina</i> L.	–	–	2

Примечание: В таблице указаны только виды, имеющие покрытие более 1 %

В зоне подтопления проективное покрытие снижается до 30–60 %. Растительный покров имеет мозаичное строение: часть подтопленных почв полностью лишена растений. Наблюдается усыхание травянистой и древесно-кустарниковой растительности в местах выхода загрязненных вод на земную поверхность (т.е. в понижениях нано- и микрорельефа). Снижается в целом видовое богатство растительности (в 2,3 раза).

Наиболее часто встречаются дербенник ивоволистный (*Lythrum salicaria* L.), иван-чай узколистный (*Chamerion angustifolium* (L.) Holub), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), щавель курчавый (*Rumex crispus* L.). Отмечены также череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.), кипрей болотный (*Epilobium palustre* L.), птармика хрящеватая (*Ptarmica vulgaris* Hill or Blackw. ex DC.) и другие (табл. 2).

По мере роста загрязнения почвогрунтов остаются только единичные виды – иван-чай узколистный и тростник обыкновенный (наиболее устойчивые к засолению).

Определить изменения влажности почвогрунтов в процессе подтопления можно с помощью фитоиндикационных экологических шкал. Наиболее широко применяются экологические шкалы Х. Эллэнберга [9] и Д. Н. Цыганова [7]. Для оценки влажности почвог-

рунтов нами были рассчитаны средние значения по 12-бальной шкале влажности Х. Элленберга (F) и по 23-бальной шкале влажности Д. Н. Цыганова (Nd). В табл. 1 приведены изменения значений этих показателей по градиенту техногенного подтопления. Высокая влажность почвогрунтов соответствует значениям шкалы Nd более 12, шкалы F – более 6.

Применение фитоиндикационных шкал показывает, что в зоне подтопления наблюдается:

- увеличение влажности почвогрунтов (средние значения шкалы увлажнения Nd Д. Н. Цыганова увеличиваются на 1,55 балла, шкалы F X. Элленберга – на 0,51 балла);
- увеличение азотного богатства (средние значения шкалы Nt Д. Н. Цыганова увеличились на 0,33 балла, шкалы N X. Элленберга – на 0,51 балла);
- увеличение солевого богатства (средние значения шкалы S X. Элленберга в 2,0 раза).

Имеет место также увеличение кислотность почвогрунтов (снижение pH): значения шкалы кислотно-щелочных условий Rc Д. Н. Цыганова снижаются на 0,82 балла, шкалы кислотно-щелочных условий R X. Элленберга – на 1,26 балла.

Изменения характеристик почвогрунтов, полученные на основе фитоиндикационных шкал, были сопоставлены с изменениями геохимических показателей в водных вытяжках почвенных проб (табл. 1). Видно, что по градиенту подтопления наблюдаются схожие изменения значений шкал азотного и солевого богатства, содержания азота аммонийного, сульфат-иона, фосфора фосфатного и сухого остатка. Так, сравнение значений шкал кислотно-щелочных условий и pH водных вытяжек показывает, что снижение pH сопровождается снижением значений фитоиндикационных шкал Rc и R.

Видно, что фитоиндикационные шкалы в данных условиях позволяют фиксировать как процесс подтопления (т.е. увеличение влажности почвогрунтов), так

и процесс химического загрязнения почвогрунтов.

### Заключение

Таким образом, результаты, полученные на основе выполненных исследований, показывают, что индикаторами подтопления и связанного с ним загрязнения почвогрунтов могут служить следующие показатели луговой растительности: общее проективное покрытие, видовое богатство, изменения покрытия и встречаемости отдельных видов, чувствительных к загрязнению, видовой состав. Фитоиндикационный метод обладает такими свойствами, как простота и эффективность. Он позволяет получить информацию об экологическом состоянии геосистем без длительных и трудоемких исследований, с минимумом затрат, поэтому может быть рекомендован для решения задач мониторинга окружающей среды.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев, А. П. Фитоиндикаторы инженерно-геологических процессов на территории города / А. П. Гусев // Природные ресурсы, 2006. – № 3. – С. 33–40.
2. Миркин, Б. М. Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М.: Логос, 2002. – 264 с.
3. Цыганов, Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов / Д. Н. Цыганов. – М.: Наука. – 1983. – 196 с.
4. Гусев, А. П. Первичная сукцессия на отвалах фосфогипса (Гомельский химический завод, Белоруссия) / А. П. Гусев // Экология. – 2006. – № 3. – С. 232–235.
5. Гусев, А. П. Особенности формирования ландшафтно-геохимических барьеров в зоне влияния отходов химических производств (Гомельский химический завод) / А. П. Гусев, О. В. Шершнева, А. И. Павловский, И. О. Прилуцкий, А. Ф. Акулевич // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2013. – № 2. – С. 147–152.
6. Ellenberg, H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas / H. Ellenberg. – Göttingen: Goltze, 1974. – 97 S.

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

Гусев А. П., доцент кафедры экологии, кандидат геолого-минералогических наук  
E-mail: andi\_gusev@mail.ru  
Тел.: 8 (0232) 570-033

F. Skorina Gomel State University

Gusev A. P., associate professor of the Ecology Chair, Candidate of Geology-Mineralogical Science  
E-mail: andi\_gusev@mail.ru  
Tel.: 8 (0232) 570-033