

ДИАГНОСТИКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА КОМПЛЕКСОМ ДИСТАНЦИОННЫХ И НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ

А.П. Гусев

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель,
Республика Беларусь, email: andi_gusev@mail.ru*

Цель исследований – оценка загрязнения верхней части геологической среды на основе комплекса наземных и дистанционных индикаторов. Разработан и апробирован комплекс методов, состоящий из многозональной космической съемки и наземных геоэлектрических исследований (резистивиметрия поверхностных вод, съемка потенциала естественного электрического поля, вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений). В качестве индикаторов загрязнения использованы: вегетационные индексы (NDVI, NBR, SWVI) и удельное электрическое сопротивление поверхностных вод и компонентов геологической среды (почвогрунты, подземные воды, породы зоны аэрации). Разработанный комплекс позволяет быстро и эффективно оценить химическое загрязнение верхней части геологической среды, определить направление движения загрязнения от источника, площадь и глубину загрязнения.

Ключевые слова: химическое загрязнение; геологическая среда; вегетационный индекс; геоэлектрический метод; кажущееся электрическое сопротивление.

Тестовый участок, на котором проводились исследования, расположен в водно-ледниковом ландшафте, характеризующимся волнистым рельефом и литогенной основой, представленной водно-ледниковыми песками и супесями, моренными суглинками. Абсолютные высоты в пределах участка – 131–132 м.

Вероятным источником загрязнения является склад серы, находящийся на территории крупного предприятия химической промышленности. В зоне влияния склада серы находится геосистема заболоченного леса (мелколиственный лес разнотравный на дерново-глеевых супесчаных почвах). Фоновая геосистема представляет собой мелколиственный лес разнотравный на дерново-глеевых почвах. Древесный ярус представлен ольхой черной, березой повислой, осиной. Подлесок – крушина ломкая, ивы. В травяном ярусе – тростник обыкновенный, рогоз широколистный, хмель обыкновенный, подмаренник цепкий, крапива двудомная, сныть обыкновенная, вербейник обыкновенный, осоки.

Под воздействием загрязнения в окружающем ландшафте сформированы техногенные модификации исходной геосистемы:

ТМ-2 – участок с мозаичным тростниково-березовым фитоценозом;

ТМ-1 – участок, полностью лишенный растительного покрова.

Площадь фоновой геосистемы составляет 1,4 га, зоны ТМ-2 – 1,1 га, зоны ТМ-1 – 0,9 га. Склад серы находится на расстоянии 50 м от зоны ТМ-1 и на расстоянии 120 м от границы фоновой геосистемы (по прямой). Площадь склада серы составляет 0,18 га.

Техногенные модификации отделены от фоновой геосистемы насыпью железной дороги (высота насыпи 1,5 м, ширина 10 м).

Методика работ включала: расчет вегетационных индексов (NDVI, NBR, SWVI) по данным многозональной космической съемки (летние снимки спутников Sentinel-2); резистивиметрия поверхностных вод (в лужах и канавах); съемка методом потенциала естественного электрического поля (шаг между точками наблюдения 10 м); вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) методом сопротивлений на постоянном токе (размеры питающих линий АВ от 3 до 300 м, приемных линий MN – от 1 до 20 м, расстояние между точками наблюдения – 100 м).

Обработка и атмосферная корреляция космических снимков выполнена с помощью геоинформационной системы QGIS.

Для проведения геоэлектрических работ использована электроразведочная аппаратура ERA-MAX. Для съемки методом естественного электрического поля применены неполяризующиеся электроды системы ВИРГ. Интерпретации данных ВЭЗ проводилась с помощью программы IPI2Win. Для резистивиметрии использован портативный резистивиметр, позволяющий определять удельную электрическую проводимость и соответствующую ей минерализацию воды (в мг/дм³).

Установлено, что наиболее низкие значения вегетационных индексов приурочены к зоне ТМ-1. По сравнению с фоновой геосистемой значение NDVI здесь снижается в 2–2,25 раза, значение NBR – 2,31–3,15 раза, а значение SWVI – в десятки раз. В зоне ТМ-2 по сравнению с фоновой геосистемой значение NDVI снижается в 1,33–1,34 раза, значение NBR – в 1,65–1,7 раза, значение SWVI – 4,28–8,03 раза. Изменения вегетационных индексов по градиенту воздействия отражают процессы деградации растительного покрова под воздействием химического загрязнения (таблица).

Химическое загрязнение фиксируется в водах луж и каналов: по данным резистивиметрии в зоне ТМ-1 минерализация вод превышает 10 г/дм³ (удельное электрическое сопротивление – менее 1 ом/м). В зоне ТМ-2 минерализация поверхностных вод снижается до 0,5–1,5 г/дм³. В пределах фоновой геосистемы минерализация ниже 1 г/дм³, за исключением одной точки наблюдения, расположенной непосредственно напротив зоны ТМ-1.

Индикаторы химического загрязнения в зоне влияния склада серы

Индикатор	Градиент химического воздействия		
	Фоновая геосистема	ТМ-2	ТМ-1
Вегетационные индексы			
NDVI	0,773*	0,580	0,343
	0,763**	0,570	0,383
NBR	0,536	0,315	0,170
	0,509	0,308	0,220
SWVI	0,241	0,03	-0,08
	0,214	0,05	0,01
Геохимические показатели			
Минерализация поверхностных вод, г/дм ³	0,3-1,1	0,5-1,5	3,5-10,0
рН поверхностных вод	5,5-6,0	4,0-5,0	<3,0

Примечания. * снимок 11.07.2020 г.; ** среднее значение по снимкам 20.06.2018, 11.08.2018, 26.08.2018.

Указанные методы четко фиксируют пространственную структуру загрязнения почв и поверхностных вод, однако, не позволяют однозначно определить источник и механизм распространения загрязняющих веществ в ландшафте. Для изучения особенностей движения поверхностных и подземных вод, их взаимосвязи, а также распространения фронта загрязнения в геологической среде были использованы геоэлектрические методы – естественного электрического поля и вертикальное электрическое зондирование на постоянном токе.

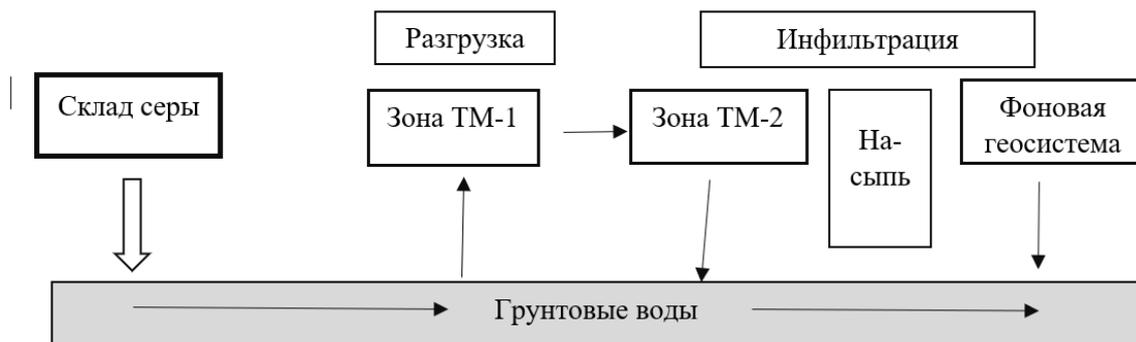
Метод естественного электрического поля используется для определения мест повышенной инфильтрации поверхностных вод, мест разгрузки подземных вод, прослеживания направления миграции неглубоко залегающих подземных вод. По данным изучения потенциала естественного электрического поля нами установлено, что зона ТМ-1 характеризуется положительными значениями потенциала (т.е. здесь происходит разгрузка грунтовых вод), а остальная часть территории – отрицательными (инфильтрация поверхностных вод в грунтовый горизонт). Исходя из этого, можно предположить, что загрязняющие вещества с земной поверхности мигрируют в грунтовые воды, которые затем разгружаются в зоне ТМ-1, вызывая засоление поверхностных почвогрунтов и гибель растительности. Для зоны ТМ-2 характерна инфильтрация осадков в грунтовые воды, и, как следствие, меньшая степень воздействия загрязненных грунтовых вод на растительность. Насыпь железной дороги, выполняя роль геохимического барьера, защищает фоновую геосистему от воздействия со стороны склада серы.

Для выяснения распространения загрязнения в глубины были выполнены вертикальные электрические зондирования. Выявлены существенные изменения в геоэлектрических характеристиках геологической среды. Так, кажущееся электрическое сопротивление в зоне ТМ-1 на глубине, соответствующей разному АВ=3 м (т.е. 0,3–0,75 м), отличается от аналогичного показателя в фоновой геосистеме в 15,6 раза, на глубине, соответствующей разному АВ=6 м (0,6–1,5 м), – в 11,3 раза, на глубине, соответствующей разному АВ=10 м (1–2,5 м), – в 10,7 раза.

На основе выполненных ВЭЗ был построен разрез кажущегося электрического сопротивления (псевдоразрез), после интерпретации кривых ВЭЗ – геоэлектрический разрез. В фоновой геосистеме и на участке ТМ-2 самый верхний слой, характеризующийся высоким сопротивлением (400–500 ом/м) и мощностью 1,1–1,3 м, соответствует песчаными почвам. Второй слой в фоновой геосистеме имеет сопротивление 230 ом/м и мощность 9,7 м – грунтовый водоносный горизонт в водно-ледниковых песках. Третий слой, в котором сопротивление снижается до 19 ом/м, представляет собой моренные отложения (супеси и суглинки с гравием и галькой) и подморенный водоносный горизонт, распространенные до глубины 22 м. Ниже залегающий слой характеризуется высоким сопротивлением (287 ом/м) и, вероятно, представляет собой отложения харьковской свиты палеогена (пески, алевриты). На участке ТМ-2 второй слой имеет сопротивление 83 ом/м и мощность 3,2 м – грунтовый водоносный горизонт. Третий слой (233 ом/м) имеет мощность 11,3 м. По сравнению с фоновой геосистемой более четкое выделение грунтового водоносного горизонта обусловлено его загрязнением, вызвавшее снижение удельного электрического сопротивления. Ниже залегают моренные отложения и подморенный водоносный горизонт (20 ом/м). С глубины 26 м они подстилаются отложениями палеогена (200 ом/м).

Геоэлектрический разрез на участке ТМ-1 резко отличается от вышеописанных. С поверхности до глубины около 20 м разрез характеризуется низким электрическим сопротивлением – до 5 ом/м. Ниже сопротивление увеличивается до 80-100 ом/м. Снижение сопротивления по всему разрезу обусловлено высокой минерализацией вод: поверхностных, и подземных грунтового и подморенного водоносных горизонтов. Анализ результатов ВЭЗ показал, что на участке ТМ-1 загрязнение охватывает всю зону аэрации, грунтовый и подморенный водоносные горизонты (до глубины 20 м). На участке ТМ-2 загрязнение фиксируется только в грунтовом водоносном горизонте (в районе размещения точки ВЭЗ).

На основе анализа выполненных исследований разработана модель распространения загрязнения в зоне влияния склада серы (рис.).



Модель распространения загрязнения в зоне влияния склада серы

Таким образом, комплексирование методов позволило получить достаточно полную картину химического загрязнения:

дистанционные методы – по вегетационным индексам картировать зоны техногенной трансформации, определить их границы и площади;

метод потенциала естественного электрического поля – установить закономерности движения грунтовых вод и соответственно миграции загрязняющих веществ;

резистивиметрия поверхностных вод – определить минерализацию поверхностных вод и ее пространственные изменения в зависимости от расстояния до источника;

вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений – оценить глубину зоны загрязнения и описать ее вертикальную структуру.