

УДК 504.05+550.3

РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И НАЗЕМНЫХ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫМИ ВОДАМИ

А. П. Гусев, Е. И. Кулыба

*Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины,
ул. Советская, 104, 246028 г. Гомель, Беларусь, andi_gusev@mail.ru*

Цель исследований — оценка подтопления загрязненными грунтовыми водами на основе комплекса наземных и дистанционных индикаторов. Разработан и апробирован комплекс методов, состоящий из мультиспектральной космической съемки и наземных геоэлектрических исследований (резистивиметрия поверхностных вод и почв, съемка потенциала естественного электрического поля, электрическое профилирование и вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений). Объекты исследований: полигоны твердых химических и коммунальных отходов. В качестве индикаторов подтопления используются вегетационные индексы и удельное электрическое сопротивление поверхностных вод, почв, грунтов, подземных вод. Разработанный комплекс позволяет быстро и эффективно картировать ареал подтопления, оценить его экологический эффект.

Ключевые слова: техногенное подтопление; химическое загрязнение; полигон отходов; вегетационный индекс; геоэлектрический метод; кажущееся электрическое сопротивление.

RATIONAL COMPLEX OF REMOTE SENSING AND GROUND-UP GEOELECTRIC METHODS IN ASSESSING TECHNOGENIC FLOODING BY POLLUTED WATER

A. P. Gusev, L. I. Kulyba

*F. Skorina Gomel State University, Sovetskaya st.,
246028 Gomel, Belarus, andi_gusev@mail.ru*

The purpose of the research is to assess flooding with contaminated groundwater based on a complex of ground-based and remote indicators. A complex of methods has been developed and tested, consisting of multispectral space surveys and ground-based geoelectric studies (resistivity measurements of surface waters and soils, surveys of natural electric field potential, electrical profiling and vertical electrical sounding using the resistivity method). Objects of research: dumps for solid chemical and municipal waste. Vegetation indices and electrical resistivity of surface waters, soils, grounds, and groundwater are used as indicators of flooding. The developed complex allows you to quickly and effectively mapping the flooding area and assess its ecological effect.

Keywords: technogenic flooding; chemical pollution; waste dump; vegetation index; geoelectric method; apparent electrical resistance.

Под рациональным комплексом понимают сочетание методов, обеспечивающих надежное решение поставленной задачи в случае определенного типа объектов в конкретных геологических условиях [1, с. 151].

Полигоны твердых отходов являются мощными источниками воздействия на компоненты окружающей среды: атмосферный воздух, растительность, почвы, грунты, поверхностные и подземные воды. Оценка состояния окружающей среды, как правило, производится по отдельным компонентам, при этом основное внимание уделяется воздушному бассейну и поверхностным водам. Как следствие имеющаяся система экологической оценки дает разрозненную и неполную информацию о распространении химического загрязнения в окружающей среде. Поэтому актуальным является поиск рационального комплекса методов, который позволит оперативно получать информацию о состоянии геосистем, подверженных воздействию по стороны экологически опасных техногенных объектов.

Эффективным методом изучения химического загрязнения являются геоэлектрические исследования (электроразведка), основанные на взаимосвязи между удельным электрическим сопротивлением и содержанием растворенных солей в воде [2-4]. Использование электроразведки позволяет осуществлять непрерывные площадные наблюдения при относительно низкой стоимости работ, без бурения скважин и нарушения растительного покрова и почв горными выработками. Недостатком геоэлектрических методов является неоднозначность их экологической интерпретации. Для повышения эффективности применения электроразведки при изучении негативных процессов в зонах влияния техногенных объектов нами предложено использовать ее в комплексе с дистанционными методами. Наиболее важным экологическим индикатором выступают вегетационные индексы, рассчитываемые на основе многозональной космической съемки и отражающие состояние растительного покрова [6].

Цель исследований — оценка процесса техногенного подтопления в зоне влияния полигонов твердых отходов с помощью комплекса космической многозональной съемки и наземной электроразведки. Решаемые задачи: изучение изменений растительного покрова под влиянием техногенного подтопления на основе анализа вегетационных индексов (NDVI, NBR, SWVI) и выделение техногенных модификаций геосистем; диагностика загрязнения поверхностных вод и почв методом резистивиметрии; изучение распространения загрязнения в подземных водах; выяснение

механизмов распространения загрязнения в верхней части геологической среды.

Разработанный комплекс включает:

многозональную космическую съемку (данные по спутникам Sentinel-2, разрешение 10 м) — определяются спектральные индексы, по которым диагностику техногенное воздействие на растительный покров; резистивиметрию (измерение удельного электрического сопротивления) поверхностных вод (определяется минерализация воды, в г/л), почв, грунтов;

съемку методом потенциала естественного электрического поля (определяются участки инфильтрации и разгрузки подземных вод, направления движения подземных вод);

электрическое профилирование (ЭП) методом сопротивления на серии малых разносов питающей линии АВ — изучение пространственной неоднородности кажущегося электрического сопротивления;

вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) методом сопротивлений — изучение геоэлектрического разреза в глубину.

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 измерения сопротивления вод и почв используются портативные резистивиметры.

Рассмотрим примеры использования комплекса методов для оценки процесса техногенного подтопления в зоне влияния полигонов отходов.

Полигон твердых отходов химического производства (фосфогипса). В зоне влияния отвалов фосфогипса (рис. 1) образовались техногенные модификации (ТМ) исходной луговой геосистемы (луг разнотравно-злаковый на дерновых песчаных почвах), которые различаются по степени повреждения растительного покрова: ТМ-2 — участок с мозаичным тростниково-березовым фитоценозом; ТМ-1 — участок, полностью лишенный растительного покрова. Образование техногенных модификаций вызвано загрязнением поверхностных и грунтовых вод. Каждая модификация характеризуется определенным диапазоном величин вегетационных индексов. Значения NDVI в зоне ТМ-1 ниже фонового в 2,5 раза. Значения NBR — ниже фонового в 1,8 раза. Значения SWVI — в 14,9 раза. Все отличия статистически достоверные. Колебания NDVI отражают изменения продуктивности луговой геосистемы, подвергшийся воздействию химического загрязнения со стороны отвалов. Снижение NBR и SWVI указывают на стрессовое состояние растительности (усыхание, пожелтение, разрежение травостоя — фиксируются в отражательной способности земной

поверхности). По данным геоэлектрических исследований на участке ТМ-1 сопротивление до глубины 10 м аномально низкое, что обусловлено значительным повышением минерализации подземных вод. Минерализация поверхностных вод в лужах здесь составляет 5-10 г/л. На участке ТМ-2 низкое сопротивление отмечается только в самой верхней части разреза — до глубины 2,5 м. Это позволяет предположить, что миграция загрязняющих веществ к этому участку идет с поверхностным стоком, а загрязнение ниже грунтового водоносного горизонта отсутствует.

Полигон твердых коммунальных отходов. На территории, прилегающей с севера к полигону, имеет место развитие техногенного подтопления, обусловленного как потоком фильтрационных вод с отвала, так и нарушением поверхностного стока при строительстве автомобильной трассы. Подтопление выражается в подъеме уровня грунтовых вод к земной поверхности (в весенний период имеет место разгрузка грунтовых вод на земную поверхность). В результате подтопления в окружающем лесном ландшафте образовались техногенные модификации: ТМ-1 — зона сильного подтопления; ТМ-2 — зона умеренного подтопления. Фоновая геосистема — смешанный лиственный лес на дерново-слабоподзолистых оглеенных почвах (песчано-супесчаного состава). По данным космической съемки определена зона деградации лесного растительности, вызванной техногенным подтоплением. NDVI по градиенту подтопления снижается в 1,5-2,3 раза; NBR — в 1,8-2,9 раза; SWVI — в 2,4-7,4 (максимум отличий в июне). Снижение вегетационных индексов объясняется деградацией древесного яруса под воздействием подтопления грунтовыми водами (в зоне ТМ-1 на сухостой приходится до 50 % всех деревьев). Установлено, что кажущееся электрическое сопротивление на эффективной глубине, соответствующей разностям питающих линий АВ=10 м и АВ=30 м, по градиенту подтопления изменяется от первых сотен Ом·м в фоновой геосистеме до первых десятков Ом·м в зоне максимальной трансформации (ТМ-1). При этом минерализация поверхностных вод по градиенту подтопления изменяется в 6,2 раза, в зоне ТМ-1 превышает 1 г/л; электрическое сопротивление почв по градиенту подтопления снижается в 226 раз; в зоне ТМ-1 оно находится в пределах 7,7-10,9 Ом·м.

На основе комплекса исследований схема трансформации компонентов геосистем в зоне влияния полигона твердых коммунальных отходов выглядит следующим образом. От полигона отходов свалочный фильтрат поступает в грунтовые воды, загрязняя их (увеличивается минерализация). Грунтовые воды разгружаются на земной поверхности в зоне ТМ-1, где под воздействием как роста влажности, так и влияния токсичных веществ и засоления почв происходит деградация древесной растительности (массовое усыхание, которое сказывается на величине

вегетационных индексов). В зоне ТМ-2 воздействие токсичных грунтовых вод снижается и соответственно деградация древесной растительности проявляется в меньшей степени.

Таким образом, комплексирование космической съемки и геоэлектрических методов позволило: по вегетационным индексам — картировать зоны техногенной трансформации, определить их границы и площади; по результатам резистивиметрии — определить минерализацию поверхностных вод и ее пространственные изменения; по данным ЭП и ВЭЗ оценить пространственные изменения уровня грунтовых вод и их химическое загрязнение.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Х23КИ-022).

Библиографические ссылки

1. *Никитин А. А., Хмелевской В. К.* Комплексирование геофизических методов. М. : ВНИИгеосистем, 2012.
2. *Огильви А. А.* Основы инженерной геофизики. М. : Недра, 1990.
3. Оценка засоления почв и грунтовых вод методами электрического сопротивления / А. И. Поздняков [и др.]. Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2013.
4. *Гусев А. П.* Комплексирование космической съемки и геоэлектрических методов при диагностике химического загрязнения геологической среды // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. №3. С. 133–140.
5. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Том 2. Малоглубинная электроразведка. М.: МГУ, 2013.
6. The use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations / G. T. Yengoh [et al.]. Lund University Centre for Sustainability Studies LUCSUS, 2014.