

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ НАЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ И КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

А. П. Гусев

*Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, г. Гомель,
Беларусь, gusev@gsu.by*

Предложен комплекс методов, включающий многозональную космическую съемку (вегетационные индексы) и наземные геоэлектрические исследования (электроразведка). Объекты исследований: лесные и луговые геосистемы в зонах влияния полигонов твердых химических и коммунальных отходов; урбогеосистемы. Разработанный комплекс позволяет быстро и эффективно оценивать деградацию растительного покрова, загрязнения компонентов геосистем, выявлять опасные и неблагоприятные геологические процессы.

Ключевые слова: геосистемы; космическая съемка; электроразведка; вегетационные индексы; электрическое сопротивление; загрязнение.

Введение. Обширный арсенал методов разведочной геофизики до настоящего времени слабо используется в геоэкологических исследованиях. Это обусловлено рядом факторов: отсутствие геофизических знаний у экологов и экологических знаний у геофизиков; преимущественная ориентированность полевых методик, технологий и аппаратуры геофизики на поиски и разведку полезных ископаемых, т.е. на глубокие горизонты земной коры; высокий уровень техногенных помех вблизи земной поверхности; отсутствие адекватных геофизических моделей самой верхней части геологической среды (зоны аэрации) в условиях высокой техногенной трансформации (например, в городах); геофизические показатели требуют экологической интерпретации.

Эффективным методом изучения химического загрязнения являются геоэлектрические исследования (электроразведка), основанные на взаимосвязи между удельным электрическим сопротивлением и содержанием растворенных солей в воде, почве, грунте. Использование электроразведки позволяет осуществлять непрерывные площадные наблюдения при относительно низкой стоимости работ, без бурения скважин и нарушения растительного покрова и почв горными выработками. 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.

Материалы и методы исследований. Цель исследований – оценка экологического состояния геосистем с помощью комплекса космической многозональной съемки и наземной электроразведки. Решаемые задачи: изучение изменений растительного покрова под влиянием техногенных факторов на основе анализа вегетационных индексов (NDVI, NBR, SWVI), выделение техногенных модификаций геосистем; оценка загрязнения почв, грунтов, поверхностных и подземных вод методами электроразведки; оценка неблагоприятных геологических процессов методами электроразведки.

Разработанный комплекс включает: многозональную космическую съемку (данные по спутникам Sentinel-2, разрешение 10 м) – определяются спектральные индексы, по которым оценивают 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.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим примеры геоэкологических исследований с использованием данного комплекса.

Оценка химического загрязнения компонентов геосистем в зоне влияния полигона твердых отходов химического производства (фосфогипса). По данным космической съемки в зоне влияния отвалов фосфогипса выделяются техногенные модификации (ТМ) исходных луговой (луг разнотравно-злаковый на дерновых песчаных почвах) и лесной (сосновый лес) геосистем, которые различаются по степени повреждения растительного покрова. Образование техногенных модификаций луговой геосистемы вызвано загрязнением поверхностных и грунтовых вод; техногенных модификаций лесной геосистемы – воздействием загрязнения атмосферы. Каждая модификация характеризуется определенным диапазоном величин вегетационных индексов. Для луговой геосистемы 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. Колебания NDVI отражают изменения продуктивности луговой геосистемы, подвергшийся воздействию химического загрязнения со стороны отвалов. 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.

Оценка техногенного потопления в зоне влияния полигона 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. В результате подтопления образовались техногенные модификации исходной лесной геосистемы (смешанный лиственный лес на дерново-слабоподзолистых оглеенных почвах): ТМ-1 – зона сильного подтопления; ТМ-2 – зона умеренного подтопления. 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). 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.

Изучение засоления урбоземов городских улиц. Широко распространен в городских геосистемах процесс засоления урбоземов, вызванный использованием противогололедных соляно-песчаных смесей. Песчано-солевая смесь

(пескосоль) представляет собой смесь технической соли (NaCl) и песка в различных пропорциях (доля соли составляет 10-30 %). Песчано-солевые смеси активно применяются на автомобильных дорогах, пешеходных частях улиц, площадях. Такие смеси быстро плавят лед и улучшаются коэффициент сцепления. Соответственно после таяния снега солевая часть может задерживаться в почвогрунте, близлежащих к полотну дороги участках. Для оценки засоления почвогрунтов вдоль дорог может применяться комплекс, включающий метод резистивиметрии (измерение сопротивления урбоземов на глубине 5-10 см) и фитоиндикацию (оценку жизненного состояния деревьев). В ходе исследования засоления урбоземов на территории города Гомеля проводилась резистивиметрия в точках, расположенных на различном расстоянии от проезжей части (1, 5, 10, 20 м). Фоновые измерения проводились в пределах городских лесопарков. На Речицком проспекте вблизи дороги (расстояние 5 м) сопротивление составляло 16-50 (среднее значение – 30,3) Ом·м. По мере удаления от дороги увеличивалось до 1000-5000 (среднее значение 1990,0) Ом·м (в лесопарке). На улице Советской сопротивление урбоземов вблизи полотна дороги (до 5 м) составляло 29,1-70,9 (среднее 52,1) Ом·м; на расстоянии 15 м – 73,5-303,0 (среднее – 214,3) Ом·м. В лесопарке – более 200 Ом·м. Значения сопротивления урбоземов сопоставлялись с результатами оценки жизненного состояния деревьев.

Изучение неблагоприятных геологических процессов в городских геосистемах. Геологические процессы в городских геосистемах (подтопление, суффозия) могут вызвать повреждения зданий и сооружений. Диагностика геологических процессов в условиях города крайне затруднена. Однако, комплексирование методов малоглубинной геофизики позволяет выявлять наиболее уязвимые места зданий и сооружений. На примере участка, в пределах которого расположен 1 корпус ГГУ, рассмотрено применение методов естественного электрического поля, вертикального электрического зондирования и инфракрасной термометрии для изучения процесса движения грунтовых вод и связанной с ним суффозии в основании здания. Градиент снижения потенциала естественного электрического поля указывает направление горизонтального движения грунтовых вод. Участок с максимальным развитием суффозии, возникающей при инфильтрации вод, выделяется по наиболее низким значениями потенциала естественного электрического поля (от -10 и ниже мВ) и пониженному электрическому сопротивлению на глубине до 5 м.

Заключение. Таким образом, комплексирование космической съемки и геоэлектрических методов позволило: по вегетационным индексам – картировать зоны техногенной трансформации, определить их границы и площади; по результатам электроразведки – оценить загрязнение почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, выявить неблагоприятные геологические процессы (подтопление, суффозия).