

районе хвостохранилища. На этих же участках сосредоточены и наиболее интенсивные аномалии всех других элементов вторичных ореолов.

Таким образом, в результате проведённых исследований, было установлено интенсивное загрязнение почвенного покрова вблизи карьера. Тем самым, следует отметить, что на этих территориях следует проводить постоянный контроль состояния окружающей среды, а также разработать методы уменьшения влияния шламонакопителя и отвалов на окружающую среду. Для редкометальных месторождений следует проводить постоянный контроль естественного радиоактивного фона.

### Литература

1. Волкова Т.П. Критерии продуктивности редкометальных месторождений и рудопроявлений Октябрьского массива // Наукові праці ДонГТУ, сер. гірничо-геол. - 2001. - вип.36, с. 63-69.
2. Волкова Т.П., Попова Ю.С., Омельченко А.А. Эколого-геологическая характеристика особенностей накопления химических элементов в почвах Приазовья // Наукові праці ДонНТУ, серія гірничо-геол., 2005, вип. 96, с.84-91.
3. М.Е. Певзнер, В.П. Костовецкий, «Экология горного производства». – Москва, «Недра», 1990 г.

© Волкова Т.П., Дёмина Е.Ю., 2007

УДК 556.314:628.24

Канд. геол-мин. наук ВЫБОРОВ С. Г., студ. ЛАВРУШКО А. С., студ. РУДЧЕНКО Е. А., студ. МИНЯЙЛО Е. Э. (ДонНТУ)

### **ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ПРОЯВЛЕННОСТЬ ОРЕОЛОВ ТЕХНОГЕННОГО ЗАМЕЩЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СВЯЗИ С ЛАРИНСКИМ ПОЛИГОНОМ ТБО Г. ДОНЕЦКА**

Полигоны твердых бытовых отходов (далее ТБО) являются опасными источниками загрязнения окружающей среды. Их негативное воздействие проявляется в интенсивном загрязнении всех геосфер макро- и микроэлементами широкого спектра. Это создает крайне неблагоприятные условия для существования растительного и животного мира, жизни и деятельности населения прилегающих территорий. Размеры ореолов негативного воздействия и интенсивность загрязнения определяются технологией эксплуатации полигона ТБО и ландшафтно-геохимическими условиями территории его размещения.

Нормативная эксплуатация полигонов с соблюдением рационального комплекса природоохранных мероприятий способна свести к минимуму негативное воздействие на окружающую среду [1]. Для достижения этого комплекс природоохранных мероприятий разрабатывается исходя из природных ландшафтно-геохимических условий территории размещения полигона и технологии его эксплуатации.

Ларинский полигон ТБО расположен у юго-западной окраины г. Донецка в 150-200 м на юг-юго-запад от пос. Ларино. Отходами заполняется локальное понижение рельефа в пределах водораздела между балкой Четвертная и рекой Кальмиус. Значительная площадь (около 15 га) и чашеобразная форма понижения послужили благоприятными факторами при выборе площадки для складирования отходов. В южной части понижение переходит в узкую балку, простирающуюся на восток к р. Кальмиус.

Ларинский полигон ТБО является масштабным источником интенсивного комплексного негативного воздействия на окружающую среду. При его организации не были предусмотрены необходимые природоохранные мероприятия.

Наиболее ярко выраженное воздействие полигон оказывает на качество подземных вод прилегающей территории. При этом в зону негативного влияния попадает р. Кальмиус и часть жилого сектора пос. Ларино, население которого использует грунтовые воды для собственных нужд, имеет колодцы или скважины. Поэтому решение задачи по определению границы зоны влияния полигона с оценкой степени опасности загрязнения подземных вод в ее пределах приобретает особую актуальность. Поставленная проблема разрешается при тщательном изучении гидрогеохимических закономерностей развития процесса загрязнения (замещения) подземных вод в системе вода – водовмещающая порода. При этом геолого-структурные условия залегания водоносных горизонтов, литолого-фациальные особенности и структурно-вещественные параметры водовмещающих пород являются определяющими факторами развития техногенного процесса загрязнения подземных вод.

В геологическом строении площадки размещения полигона участвуют каменноугольные моноклинально залегающие песчаники, аргиллиты и алевролиты с прослоями известняков, перекрытые элювиальными образованиями и делювиальными суглинками. С поверхности данные отложения перекрыты техногенными грунтами: перемещенными вскрышными породами и твердыми бытовыми отходами. Почвенно-растительный слой не выдержан, слаборазвит и проявлен на естественных склонах.

Каменноугольные отложения представляют собой толщу переслаивающихся известняков, песчаников, алевролитов и аргиллитов. Простираение пород северо-западное, падение на северо-восток под углом 10–12 градусов.

Известняки серого, темно-серого цвета, тонкозернистые, плотные массивные. Отмечаются многочисленные трещины вдоль и вкрест напластования. В приповерхностной части выделяются также многочисленные трещины выветривания, некоторые из них открытые, частично заполнены глинистым материалом, по трещинам отмечаются гидроокислы железа. Пласты известняков мощностью до 3 и более метров обнажаются на восточном склоне водораздела. Многочисленные искусственные обнажения, возникшие при разработке известняка, а также данные буровых работ позволяют выделить достаточно мощный слой осадочных пород более 25 м, в котором преобладают известняки. Они обнажаются практически по всей водораздельной поверхности, на которой находится полигон, и служат его основанием. В разрезе известняки переслаиваются с песчаниками и алевролитами.

Ниже по разрезу залегает толща, в разрезе которой преобладают песчаники, мелко-среднезернистые на карбонатном цементе, светло-серые с зеленоватым оттенком. По трещинам развиваются окислы и гидроокислы железа.

Нижняя часть изученного разреза каменноугольных отложений слагает пачка переслаивающихся алевролитов и аргиллитов. Алевролиты зеленовато-серые, буровато-серые (за счет гидроокислов железа в местах интенсивной трещиноватости), с блестками слюды по плоскостям напластования. Трещиноватость алевролитов неравномерная, кроме трещин напластования и отдельности встречается множество разно ориентированных трещин выветривания. Трещины в основном закрытые, на стенках часты отложения гидроокислов железа. Аргиллиты зеленовато-серые, выветрелые, трещины выветривания закрытые, гидроокислы железа присутствуют в виде прожилков.

Залегающие первыми от поверхности породы перекрываются элювием неравномерной мощности (от 0,2 до 2,5м). Состав элювия зависит от литологии материнских пород: на известняках, песчаниках и алевролитах залегают дресвяно-щебенистые грунты на суглинисто-супесчаном цементе, аргиллиты перекрываются глинами с включением дресвы до 20-30%. Элювий имеет реликтовую слоистость и постепенно переходит в материнскую породу.

Делювиальные суглинки распространены по периметру площадки складирования полигона на склонах водораздела, где сохранился природный рельеф. Местами делювий отсутствует. На участках распространения он представлен суглинками желто-бурыми, комковатой структуры с включениями карбонатов в виде пленок и стяжений. Мощность суглинков колеблется от 0,5 до 6,0 м.

Аллювиальные отложения приурочены к пойме реки Кальмиус и днищам балок. Они представлены желтовато-серыми, темновато-бурыми запесоченными суглинками и глинами с прослоями сильно глинистых разнородных песков и супесей, с включением обломков и гальки коренных пород. Мощность до 10 м.

Насыпные (техногенные) грунты представлены минеральными грунтами: делювиальными желто-бурыми суглинками и элювиальными суглинисто-щебенистыми образованиями, перемещенными в процессе вскрышных работ, а также твердыми бытовыми отходами. Техногенные суглинки слагают отвалы по краям площадки складирования, а отходы занимают ее центральную часть. К юго-востоку от полигона сооружена дамба из местных суглинков, ограждающая поверхностный сток с его стороны в балку и далее в р. Кальмиус.

По данным гидрогеологической рекогносцировки и разведочного бурения на площадке размещения полигона грунтовые воды залегают на глубине более 15 м. Они заключены в каменноугольных отложениях в зоне активного водообмена. В этой зоне водоносны все каменноугольные породы, независимо от литологии. По характеру движения воды трещинного типа. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка – в балки Тринадцатую, Четвертную и в р. Кальмиус. По условиям залегания горизонт не защищен от химического и микробного загрязнения.

На прилегающей к полигону территории распространены подземные воды, заключенные в каменноугольных породах и плейстоценовых отложениях. Геологическое строение и литология пород определяют гидрогеологические условия территории. В данном случае каменноугольные породы образуют горизонт трещинных и трещинно-пластовых вод, к которому в долине р. Кальмиус, в б. Четвертной и в б. Тринадцатой примыкают аллювиальный и аллювиально-делювиальный водоносные горизонты. По характеру движения подземных вод аллювиальный и аллювиально-делювиальный горизонты – поровые, воды в них движутся по порам, а водопроницаемость определяется величиной активной пористости грунтов. Отсутствие водонепроницаемых отложений на контакте между карбоновым и плейстоценовым горизонтами объединяет их в один комплекс подземных вод, характеризующийся неоднородной водопроницаемостью в плане и по глубине. Песчаники и известняки карбонового горизонта имеют коэффициент фильтрации (Кф) на порядок выше, чем алевролиты и аргиллиты, а Кф плейстоценовых отложений несколько ниже, чем у аргиллитов.

Уровеньная поверхность комплекса в более сглаженном виде повторяет рельеф земной поверхности. В плане подземный поток – плоскорадиальный (расходящийся), то есть уровеньная поверхность от полигона снижается на север к б. Тринадцатая, на восток – в сторону долины р. Кальмиус и на запад к б. Четвертная. Река и балки являются естественными гидродинамическими границами для полигона и прилегающей территории. В пределах поймы р. Кальмиус и в днищах балок грунтовые воды залегают на глубине до 0,5-1,0 м. Глубина залегания вод в днище б. Четвертная постепенно возрастает в направлении от устья и в районе полигона достигает 5-8 м.

Теоретически возможная зона влияния полигона на подземные воды определяется направлением движения подземного потока, продвигающегося к полигону с юго-запада, и ограничивается элементами гидрографической сети территории: с запада, северо-запада - б. Четвертной, с севера - б. Тринадцатой, с востока и северо-востока - р. Кальмиус.

Отходы, складываемые на полигоне, образуют самостоятельный слой техногенных отложений и являются частью геологической среды исследуемой территории. Ввиду того, что их состав весьма разнообразен, они представляют собой химически неравновесные, агрессивные образования, которые со временем претерпевают быстрые изменения. Главными компонентами ТБО являются: бумага – около 40%, пищевые отходы – 29%, полиэтилен – 7%, текстиль – 5%, металл – 4,5%, стекло – 4%, древесина – 1%, камни – 0,3%, прочее – 9,2%. Кроме этого ТБО характеризуются следующими показателями: влажность 42–45% от общей массы; плотность 0,2 т/м<sup>3</sup>; рН – 5,8–6,0; концентрация органических веществ – 55–58% от сухой массы отходов.

Приведенные средние показатели ТБО в течение времени меняются в связи с постоянным изменением структуры и вещественных параметров отходов. В процессе их уплотнения отжимается влага, которая способствует протеканию окислительно-восстановительных реакций, сопровождающихся ростом температуры. При окислении органических веществ возникают различные кислоты, повышающие агрессивность среды внутри толщи отходов. Органические вещества теряют влагу, перегорают и уплотняются. Металлы окисляются, переходят в подвижное состояние, выщелачиваются окружающей агрессивной жидкостью (фильтратом) и далее через зону аэрации мигрируют в водоносные горизонты. Большие объемы фильтрата возникают, когда отходы складываются без должного уплотнения и послойной изоляции инертными грунтами (суглинками). Этому способствуют также атмосферные осадки, обогащенные кислородом, фильтрующиеся сквозь толщу отходов. Они с одной стороны разбавляют фильтрат, с другой поставляют дополнительные порции влаги, обогащенной кислородом, что ускоряет протекание химических реакций, и, наконец, увеличивают объемы агрессивного фильтрата. Известно также, что органика является питательной средой для разнообразных микроорганизмов [2, 3], ускоряющих процесс переработки слоя отходов. Комплекс химических и биохимических реакций приводит к попутному образованию биогаза, главными компонентами которого являются метан и сероводород. Период полного физико-химического и биохимического преобразования ТБО зависят от условий эксплуатации полигона и могут составлять 5–10 лет. После этого наступает относительное динамическое равновесие, когда процессы преобразования слоя отходов не отличаются от изменений, наблюдаемых в природных отложениях.

Влияние полигона на геологическую среду участка выражено также в физико-химическом преобразовании подстилающих слой отходов пород зоны аэрации и водовмещающих пород. Это происходит под воздействием проникающего из толщи отходов химически агрессивного водного раствора – фильтрата. В основании отходов залегает маломощный слой делювиальных суглинков и элювиальных образований. Ниже основанием полигона служат известняки карбона – плотные тонкозернистые породы, состоящие из органогенного и метаморфогенного кальцита с примесью глинистых минералов, обломочного и регенерационного кварца. Известняки создают условия существования вод с повышенной щелочностью. Поэтому фильтрат, проникающий из толщи отходов и имеющий кислотную реакцию, крайне агрессивен к известнякам. Органические и минеральные кислоты, растворенные в фильтрате, вступают в реакцию с карбонатными минералами, растворяют их с образованием углекислоты, ее производных, а также разнообразных соединений кальция, магния и др. металлов. Органические соединения при этом могут концентрироваться в известняках в виде прожилков и вкрапленности, заполняя трещины и разнообразные поры. Вместе с органикой локализуются микроэлементы, в том числе тяжелые металлы. Наряду с этим в раствор переходит углекислота, способная образовывать достаточно устойчивые комплексные соединения, обуславливающие миграцию многих тяжелых металлов. В результате вокруг полигона образуется ореол замещения первичных пород вторичными или эпипородами. Наиболее измененные породы контролируют очаги загрязнения подземных

вод. Масштабы проявления данных ореолов зависят от агрессивности поступающего со стороны полигона фильтрата, его количества, характера водовмещающих пород и гидродинамических условий территории. Достаточно мощная зона аэрации (более 10 м) и подстилающие отходы известняки являются благоприятными факторами, способствующими очищению фильтрата и сокращению ореола эпигенетических преобразований. Однако в процессе бурения скважин структурно-вещественные признаки данного замещения были отчетливо установлены в скважине №6, пробуренной в основании дамбы на юго-восток от границы полигона. В суглинках желто-бурого цвета по мере приближения к водоносному горизонту отмечались постепенно усиливающиеся изменения, проявленные в виде прожилково-вкрапленных агрегатов черного цвета, насыщенных органическим веществом. Плотность вторичных изменений постепенно увеличивалась, и на границе водоносного горизонта породы стали однородными, имели черную окраску и характерный запах биогаза. Обилие растворенных в фильтрате органических веществ по мере продвижения сквозь толщу пород сорбируются и осаждаются поверхностью первичных минералов пород. При этом часть минералов первичных пород может выщелачиваться, уступая место новообразованиям. С течением времени вокруг полигона формируется закономерно построенный ореол замещения первичной геологической среды. Следы замещения были установлены на значительном удалении от полигона в скважинах, расположенных в долине р. Кальмиус на расстоянии 200-350 м от границы площадки складирования. Они проявлены прожилково-вкрапленными новообразованными агрегатами темно-серого цвета. Таким образом, ореол замещения со стороны полигона распространяется в сторону р. Кальмиус в соответствии с направлением движения подземного потока, практически достигая ее русла.

Положительным фактором служит то, что изменения водовмещающих пород способствуют локализации процесса загрязнения грунтовых вод, препятствуют распространению загрязненных техногенных вод. Отфильтрованная сквозь толщу пород вода очищается, а загрязненные компоненты связываются веществом вмещающей среды, которая при этом изменяется. В его центральных зонах ореола замещения породы насыщаются загрязняющими компонентами. В этих участках наступает равновесие в системе водовмещающая порода – загрязненная фильтратом вода, а процесс очищения воды продолжается в промежуточных и во внешних зонах ореола замещения, границы которых постепенно удаляются от полигона, ореол при этом расширяется.

В связи с этим вокруг площадки складирования отходов формируется вторичный источник загрязнения подземных вод – ореол эпигенетического замещения, деятельность которого будет отмечаться после закрытия и рекультивации полигона и может продлиться в течение длительного времени в десятки лет. При этом полного восстановления естественных параметров водовмещающей среды на данном участке не произойдет.

В результате проведенных работ (бурение скважин, отбор проб воды из скважин, колодцев и поверхностных водоисточников) были установлены закономерности строения ореола загрязнения, масштабы и интенсивность его проявления.

По уровню минерализации большая часть подземных вод исследуемой территории относится к категории сильно солоноватых с содержанием солей более  $3 \text{ г/дм}^3$ . Полигон ТБО однозначно влияет на уровень минерализации подземных вод прилегающей территории. Максимальная минерализация подземных вод ( $6,26 \text{ мг/дм}^3$ ) установлена в скважине, расположенной в основании дамбы к юго-востоку от полигона, где отмечается выход фильтрата на поверхность. Примерно такая же величина минерализации характерна для выходящего из под земли и стекающего в р. Кальмиус фильтрата. Несколько пониженный уровень минерализации подземных вод установлен к востоку от полигона в колодце по ул. Воровского, д.4 и в скважинах, пробуренных в долине р. Кальмиус. Высокий уровень минерализации ( $4,3\text{--}5,0 \text{ мг/дм}^3$ ) характерен для вод в б. Четвертная. С учетом фонового

уровня минерализации в  $2,5 \text{ г/дм}^3$ , однозначно отмечается влияние полигона с формированием зонального распределения солей в ореоле загрязнения.

Хлориды образуют локальный контрастный ореол непосредственно связанный с площадкой складирования отходов. Максимальные концентрации в  $6,5\text{--}7,25$  ПДК установлены на участке выхода фильтрата на поверхность. По мере удаления от площадки складирования отходов концентрация хлоридов резко падает. Зона распространения хлоридов контролирует максимальный уровень загрязнения подземных вод. Ее границы незначительно распространяются в стороны от полигона.

Сульфаты оконтуривают полигон с востока и севера, располагаясь по периферии зоны распространения хлоридов. В присутствии высоких концентраций хлоридов сульфаты в воде не устойчивы и выпадают в осадок. По мере снижения концентрации хлоридов их место в воде занимают сульфаты и постепенно начинают преобладать. Поэтому насыщенные сульфатами воды как бы окаймляют хлоридные воды. Между тем установленные закономерности подтверждают наличие сформированного зонально построенного ореола замещения природных вод, который занимает все пространство от б. Четвертной до р. Кальмиус.

Преобладающим катионом в водах прилегающей к полигону территории является натрий. Натриевые воды достаточно широко распространяются от границ полигона, захватывают б. Четвертная и достигают русла р. Кальмиус на участке выхода фильтрата. В долине р. Кальмиус к северо-востоку от полигона отмечаются кальций-натриевые и натрий-кальциевые воды.

Таким образом, вокруг полигона формируется вторичная техногенная гидрохимическая зональность, проявленная закономерной сменой хлоридно-натриевых вод сульфатно-натриевыми и далее сульфатными кальций-натриевыми и натрий-кальциевыми водами.

Большая часть микроэлементов также вполне закономерно распределяется в ореоле замещения.

Железо и марганец образуют контрастные локальные ореолы, контролируемые площадкой складирования полигона. Высокие концентрации до  $9\text{--}11$  ПДК для железа и  $144\text{--}165$  ПДК для марганца отмечаются на участке выхода фильтрата. По мере удаления от полигона концентрация данных элементов в подземных водах резко падает и в большинстве скважин и колодцах имеет повышенные, но редко превышающие нормативные, показатели ( $0,1 \text{ мг/дм}^3$  для марганца и  $0,3 \text{ мг/дм}^3$  для железа).

Марганец и железо часто в природных и техногенных процессах ведут себя практически одинаково, поэтому характер распространения их ореолов совпадает. Для фильтрата, образующегося при преобразовании ТБО, характерны высокие концентрации марганца и железа, которые выщелачиваются при коррозии металлического лома, окисляясь, переходят в раствор. Устойчивость этих металлов в фильтрате обусловлена восстановительной бескислородной обстановкой и низким рН ( $5,5\text{--}6,5$ ). Миграция марганца и железа прекращается на окислительных барьерах или при повышении щелочности раствора. Здесь они окисляются до трехвалентной (для железа) и четырехвалентной формы (для марганца) и выпадают в осадок, образуя корочки, прожилки и вкрапленники во вмещающих породах. При прохождении фильтрата сквозь толщу известняков всегда наблюдается рост рН. Известняки нейтрализуют кислотные свойства фильтрата. Уже на этой стадии может наблюдаться выпадение окислов и гидроокислов железа и марганца. При смешивании фильтрата с грунтовыми водами, обогащенными кислородом, также происходит дополнительное осаждение железа и марганца.

Высокие концентрации кадмия контролируются участками распространения загрязненных фильтратом грунтовых вод. В скважине у основания дамбы установлена

концентрация кадмия, превышающая ПДК ( $0,001 \text{ мг/дм}^3$ ) в 4 раза. Ореол кадмия, ограниченный концентрацией в 1 ПДК, достигает б. Четвертную и долину р. Кальмиус.

Аномальные концентрации свинца установлены в большинстве отобранных проб воды. Максимально загрязненные свинцом воды находятся на некотором удалении от границ полигона, образуя своеобразную оторочку. На участке выхода фильтрата отмечаются умеренно загрязненные свинцом воды. Максимальное загрязнение свинцом в  $13,3 \text{ ПДК}$  ( $0,03 \text{ мг/дм}^3$ ) установлено к востоку от полигона на участке заболачивания в долине р. Кальмиус. Характер поведения свинца подтверждает вывод о закономерном распределении макро- и микрокомпонентов внутри ореола замещения природных вод, когда от центра к периферии отмечается закономерные изменения не только концентраций компонентов, но и их ассоциаций.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Зона влияния полигона на подземные воды определяется направлением движения подземного потока и ограничивается элементами гидрографической сети территории: б. Четвертная к западу, северо-западу от полигона; б. Тринадцатая к северу и р. Кальмиус к северо-востоку и востоку от него.

2. В пределах установленной зоны влияния сформирован ореол замещения природных вод, внутри которого макро- и микрокомпоненты распределены вполне закономерно по отношению к источнику загрязнения.

3. Основными компонентами, испытывающими привнос со стороны полигона и интенсивную дифференциацию внутри ореола замещения, являются: хлориды, сульфаты, марганец, железо, натрий, свинец и кадмий.

4. Интенсивно загрязненные воды имеют высокий уровень минерализации и жесткости.

5. Положительными факторами, существенно снижающими степень загрязнения подземных вод и сокращающими размеры ореола замещения, являются достаточно мощная зона аэрации (10–15 м) и то, что главными породами, слагающими зону аэрации, служат известняки, которые крайне агрессивны к фильтрату, обладающему кислотными свойствами. Нейтрализация фильтрата на выходе со стороны днища полигона сопровождается осаждением большого спектра макро- и микрокомпонентов. Это способствует очищению воды, с одной стороны, и загрязняет водовмещающие породы, с другой. При этом происходит локализация процесса загрязнения в определенном объеме пород – ореоле техногенного замещения. Этим объясняется сокращение зоны влияния полигона с восточной стороны, где расположен наиболее мощный слой известняка. Поэтому подземные воды в долине р. Кальмиус имеют близкие к нормативным показатели по большинству компонентов – загрязнителей.

6. Полученные данные могут служить обоснованием для организации системы регулярного мониторинга подземных вод в зоне влияния полигона.

7. Для локализации зоны влияния полигона необходимо разработка природоохранных мероприятий, предупреждающих образование и распространение загрязненных фильтратом подземных вод.

## Литература

1. ДБН В.2.4-2-2005. Проектирование. Полигоны ТБО. Основные положения проектирования. - К.: ГОССТРОЙ Украины, 2005. - 32 с.
2. Алексеев В.А. Экологическая геохимия. - М.: Логос, 2000.- 626 с.
3. Шварцев С.Л., Пиннекер Е.В., Перельман А.И. и др. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. - Новосибирск: Наука, 1982. - 287 с.

© Выборов С. Г., Лаврушко А. С., Рудченко Е. А., Миняйло Е. Э., 2007