
ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 556.388

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛАДБИЩА НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ДРУГИХ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

© 2014 г. И. В. Галицкая, И. А. Позднякова, Г. И. Батрак, И. А. Костикова

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук,
Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия. E-mail: galgeoenv@mail.ru*

Поступила в редакцию 03.07.2013 г.

После исправления 17.02.2014 г.

Необходимость исследования геоэкологического состояния территории, прилегающей к кладбищу, возникла в связи с ее планируемой застройкой. Оценка геоэкологического состояния проводилась по результатам комплексных исследований почв, пород зоны аэрации, водонасыщенных пород, подземных и поверхностных вод. Полученные результаты эколого-геохимических исследований использованы для разработки концептуальной модели формирования загрязнения подземных и поверхностных вод.

Ключевые слова: *подземные воды, загрязнение, минерализация органического вещества, соединения азота, хлорид-ион, нефтепродукты, санитарно-защитная зона.*

ВВЕДЕНИЕ

Небольшое кладбище сельского типа в Московской области насчитывает около 3000 захоронений на площади 10 га и расположено на окраине населенного пункта в 400–600 м в смешанном лесу выше по склону от безымянного ручья. В непосредственной близости от кладбища находятся жилой поселок, автотранспортное предприятие и бывшие сельхозугодия с системой искусственного орошения.

Начало захоронений датируется 1963 г. Захоронение осуществляется на глубину до 2 м в моренные суглинки зоны аэрации. С годами интенсивность захоронений снижается, а “подзахоронений” растет и составляет около 40% от количества захоронений. Дренаж на кладбище отсутствует, отвода поверхностного стока на рельеф или в ручей нет.

Кладбище – потенциальный источник воздействия на среду обитания и здоровье человека. В результате процессов разложения останков в почвы, породы зоны аэрации и подземные воды поступают бактерии, органические соединения, соединения азота, хлориды, гидрокарбонаты, тяжелые металлы. Исследования по изучению загрязнения почв, пород зоны аэрации и подземных

вод на кладбище и прилегающей к нему территории ранее не проводились.

Согласно СанПин 2.2.1/2.1.1.1200–03, вокруг кладбища должна соблюдаться санитарно-защитная зона (СЗЗ) – территория, в пределах которой запрещается располагать объекты жилой застройки и рекреационные зоны. Размер СЗЗ данного кладбища, основываясь только на нормативных документах, однозначно установить сложно. Площадь кладбища составляет 10 га, что не позволяет отнести его к типу городского кладбища традиционного захоронения площадью 20 га, для которого необходимо соблюдать СЗЗ размером 300 м. В то же время оно существенно больше кладбища сельского типа, для которого СЗЗ может составлять 50 м. Так как на землях бывших сельхозугодий, расположенных между кладбищем и долиной ручья, предполагалось строить жилье, то установление размера СЗЗ необходимо для определения границ застройки, а именно ее удаления от кладбища на безопасное расстояние – за границы зоны влияния кладбища на загрязнение природных сред.

С целью определения зоны влияния кладбища и оценки загрязнения компонентов природной среды на прилегающей к кладбищу территории

проведены исследования геолого-гидрогеологических условий и геоэкологическое опробование почв, пород зоны аэрации и водонасыщенных пород, подземных и поверхностных вод.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения геолого-гидрогеологических условий пробурены 8 скважин, их расположение представлено на рис. 1. Обоснование перечня показателей при проведении геоэкологического опробования проведено на основании анализа и обобщения литературных и фондовых данных по биохимическим процессам распада и особенностям миграции загрязняющих веществ в зоне влияния кладбищ [1, 3, 4, 7–13].

Комплекс исследований почв и пород включал определение валового содержания химических элементов I–III классов опасности (ртуть, мышьяк, свинец, хром, кадмий, марганец, медь, никель, кобальт, цинк), нефтепродуктов, числа патогенных бактерий, индекса БГКП, индекса энтерококков, яиц и личинок гельминтов.

Обработка результатов химического анализа заключалась в определении коэффициентов превышения концентрации компонентов: предельно допустимой концентрации (ПДК) или ориентировочно допустимой концентрации (ОДК), фоновое содержание или кларка; суммарного показателя загрязнения (Z_c) для металлов I–III классов опасности. При расчете коэффициентов концентрации химических элементов в почвах и породах рассматривались 2 варианта: в первом – оценивались превышения фактического содержания элементов в почвах и породах по отношению к их фоновым содержаниям в почвах Московского региона [5]; во втором – оценивались превышения содержаний элементов в почвах по отношению к кларку элементов в песчаниках и глинах [2].

При расчете коэффициентов превышения предельно допустимой концентрации нефтепродуктов использованы нормативы¹, в соответствии с которыми в качестве ПДК рекомендовано содержание нефтепродуктов – 300 мг/кг, а уровень загрязнения оценивается по следующим градациям (мг/кг): 300–1000 – низкий, 1000–3000 –

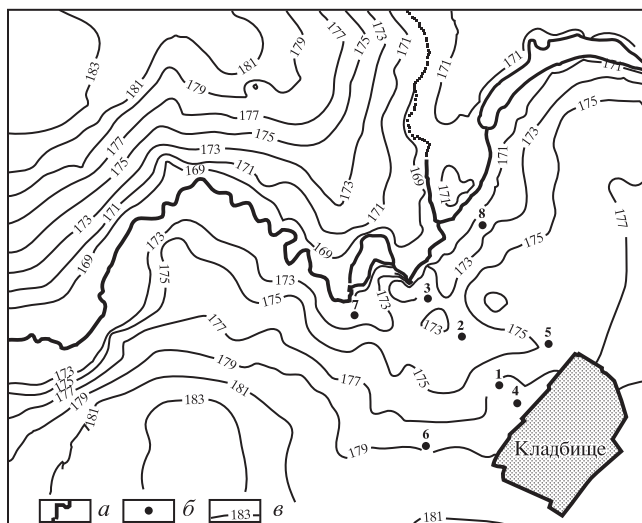


Рис. 1. Ситуационный план: а – водоток; б – скважина; в – изолинии рельефа в абсолютных отметках поверхности земли.

средний, 3000–5000 – высокий, >5000 – очень высокий.

Эколого-геохимическое состояние поверхностных и подземных вод на прилегающей к кладбищу территории оценивалось по следующим показателям: взвешенное вещество, pH, ХПК, хлориды, сульфаты, фосфаты, нитраты, нитриты, кальций, аммиачный азот, нефтепродукты, марганец, железо; коли-фаги, общее микробное число, общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, сальмонеллы, шигеллы.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИИ

В геоморфологическом отношении территория представляет пологий склон флювиогляциальной равнины с максимально высокими абсолютными отметками 178–180 м в месте расположения кладбища и минимальными 165 м в пойме ручья, впадающего ниже по течению в небольшую реку (см. рис. 1). Гидрологический режим водотоков зарегулирован при помощи дамб и искусственных водоемов.

С поверхности земли до глубины 40 м геологический разрез сложен четвертичными и юрскими отложениями примерно равной суммарной мощности.

Четвертичные отложения представлены верхнечетвертичными неоднородными покровными суглинками (ad Q₃) мощностью до 3 м; средне-

¹ Методика исчисления размеров ущерба, вызываемого захламлением, загрязнением и деградацией земель на территории г. Москвы. Приложение к распоряжению Мэра г. Москвы от 27.06.99 г. № 801 – РМ. МУ 2.1.7.730–99. Методические указания “Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест”. М.: Минздрав России, 1999.

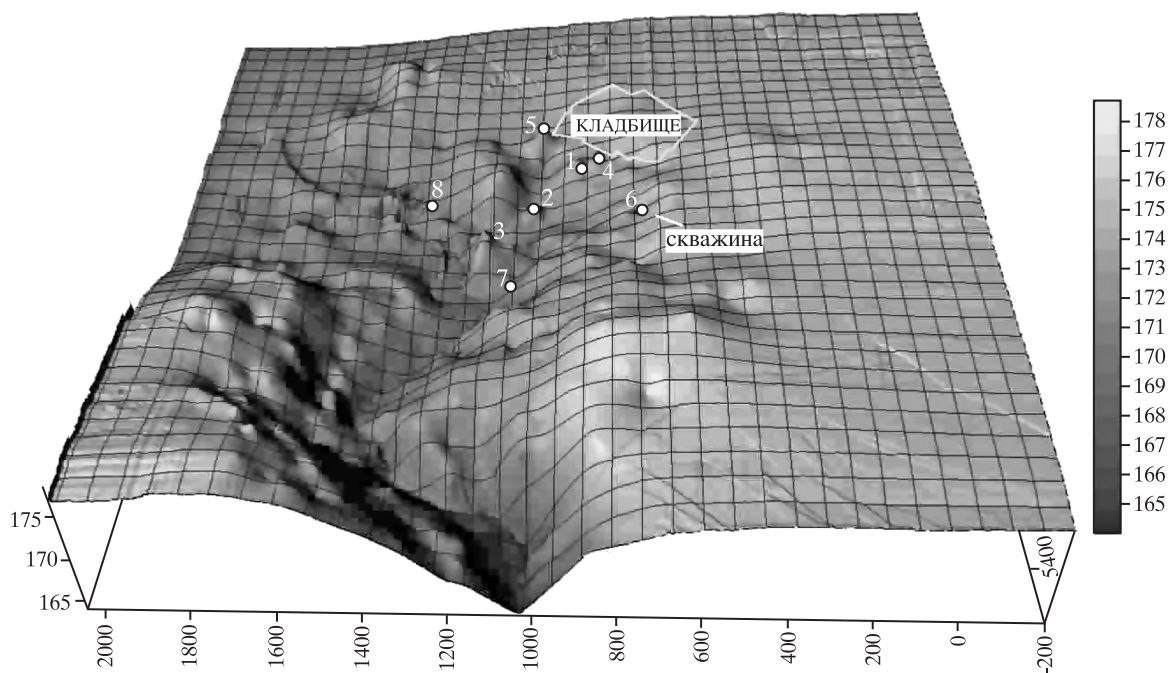


Рис. 2. Свободная поверхность подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта в среднечетвертичных флювиогляциальных отложениях в абсолютных отметках.

четвертичными отложениями – поместно распространенными флювиогляциальными разноразмерными песками ($flgQ_2ms$) мощностью 4.4–6.9 м и фрагментарно – моренными суглинками (gQ_2ms) мощностью до 2 м; повсеместно распространенными нижнесреднечетвертичными песками и супесями московско-днепровского времени ($flgQ_{1dns}-Q_2ms$) мощностью до 5 м и нижнечетвертичными суглинками и глинами днепровской морены (Q_{1dns}) мощностью до 4 м.

Отложения днепровской морены подстилаются мелкозернистыми песками титонского яруса верхней юры (J_3tt) мощностью до 7–9 м, залегающими на келловей-оксфордских глинах ($J_{2-3} kl-ox$), их вскрытая мощность превышает 20 м. Поверхность кровли глин неровная, погружается в сторону водораздела и приподнята по направлению к долине ручья.

Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием “надъюрского” водоносного комплекса в четвертичной толще и “юрского” водоносного горизонта в верхнеюрских отложениях. Надъюрский водоносный комплекс и юрский водоносный горизонт повсеместно разделены слабопроницаемыми суглинками днепровской морены. Юрский водоносный горизонт отделен от залегающих ниже водоносных горизонтов в каменноугольных отложениях слабопроницаемыми келловей-оксфордскими глинами.

Максимальная мощность “надъюрского” водоносного комплекса составляет 15–20 м на водоразделе. Глубина залегания уровня подземных вод (УПВ) – от 2.7 до 6 м. Уровневая поверхность, снижающаяся от водораздела к долине ручья, имеет аномальные погружения (рис. 2). Питание подземных вод местное инфильтрационное, разгрузка происходит в результате фильтрации в ручей и перетекания через моренные суглинки в юрский водоносный горизонт. На участках распространения слабопроницаемых суглинков московской морены (gQ_2ms) в водораздельной и склоновой части долины водоносный комплекс состоит из двух горизонтов. При этом УПВ в нижнем водоносном горизонте в нижнесреднечетвертичных песках устанавливается на 2 м ниже УПВ в верхнем горизонте в среднечетвертичных песках. В долинной части оба водоносных горизонта образуют единый горизонт.

Юрский водоносный горизонт (J_3v) распространен повсеместно. Подземные воды горизонта напорные, уровни устанавливаются на 2.5–2.8 м ниже УПВ “надъюрского” водоносного комплекса. Формирование и разгрузка подземных вод происходят за пределами исследуемой территории; его питание осуществляется в результате перетекания подземных вод из “надъюрского” водоносного комплекса, а разгрузка за счет перетекания через глины ($J_{2-3} kl-ox$) в залегающие

ниже водоносные горизонты в каменноугольных отложениях.

Подземные воды во всей водовмещающей толще характеризуются тесной гидравлической связью, которая подтверждается гидрогеохимическими данными. Водоносные горизонты и разделяющие слои в слабопроницаемых отложениях имеют небольшую мощность, максимальные перепады напоров подземных вод по разрезу не превышают 3 м. Миграция загрязняющих веществ в подземных водах может происходить как в плане по водоносным горизонтам по направлению к ручью, так и сверху вниз по разрезу в результате перетекания через разделяющие слои в слабопроницаемых отложениях.

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ РАСПАДА И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КЛАДБИЩ

После захоронения основные процессы распада останков происходят в грунтовой толще с участием почвенных микроорганизмов, влаги и кислорода воздуха. Биологическим и биохимическим процессам распада и превращения подвергаются азот- и углеродсодержащие вещества.

Разложение углеродсодержащих веществ (основные из них – углеводы) происходит с образованием воды и углекислого газа. Наиболее стойка к разложению клетчатка, ее могут разрушить только специфические организмы. В аэробных условиях клетчатка распадается до глюкозы, а затем превращается в углекислый газ и воду. В анаэробных условиях глюкоза сбраживается, образуя органические кислоты, воду и углекислый газ. Длительность этих процессов до нескольких месяцев в зависимости от температуры, влажности и активности почвенных микроорганизмов.

Азотсодержащие вещества, прежде всего белки, подвергаются процессу гидролиза, который сопровождается образованием более простых соединений. На стадии неполного гидролиза образуются пептиды (субстрат, построенный из α -аминокислотных остатков), на стадии полного гидролиза – α -аминокислоты. Далее происходит процесс дезаминирования (удаления аминогрупп от молекулы) с образованием низших карбоновых кислот, диоксида углерода и аммиака. На первом этапе под воздействием как анаэробных, так и аэробных гнилостных микроорганизмов белки расщепляются. Минерализация белков микроорганизмами приводит к выделению содержащегося в них азота в виде аммиака. Эта стадия но-

сит название аммонификации. Аммонификации подвергаются как простые, так и сложные белки. Длительность 1-го этапа колеблется от одного до нескольких лет и зависит от климатических условий: в жарких климатических условиях – от 1 года [3, 6] до 4-х лет [4]. Наиболее длительно процесс аммонификации проходит при более низких среднегодовых температурах (например, в Санкт-Петербурге начальные процессы минерализации были замечены только через 204 года после захоронения [4]).

На следующих стадиях происходит окисление образовавшегося аммиака сначала в азотистую, а затем в азотную кислоты. Эти процессы требуют кислорода и вызываются нитрифицирующими бактериями. Окисление аммиака до азотистой кислоты осуществляется бактериями – *Nitrosomonas*, а окисление азотистой кислоты до азотной – *Nitrobacter*. Оба вида относятся к аэробным бактериям, и для обеспечения их жизнедеятельности необходима диффузия кислорода с поверхности земли, интенсивность поступления которого зависит от свойств почв и пород зоны аэрации. Так, в пористом крупнозернистом грунте процесс тления протекает в 2 раза быстрее, чем в глиносодержащем [4], а затопление почвы препятствует микробному разложению органических веществ [11]. При большом содержании глины, в особенности при большом содержании влаги, процесс тления вообще может не начаться либо прекратиться на ранних этапах, происходит так называемое омыление трупов.

В результате процессов разложения в окружающую среду поступают метаболиты, основные из которых – углекислый газ (разложение углеводов и клетчатки), аммиак, азотистая и азотная кислоты (разложение белков). Помимо них в окружающую природную среду поступают хлориды и низкомолекулярные органические вещества. В водной среде продукты разложения обнаруживаются по повышенным относительно фона концентрациям ионов аммония, нитритов, нитратов, хлоридов. Косвенное подтверждение содержания в воде органических веществ – повышенное значение окисляемости. В зоне влияния кладбища почвы могут содержать продукты разложения в концентрациях значительно выше фоновых. Изучение почв Донского кладбища г. Москвы на глубине 2.35–2.52 м около захоронений 5–15-летней давности позволило обнаружить превышение содержаний аммонийного азота в 57 раз, нитратов в 14–180 раз, величины окисляемости в 1.5–2 раза. Динамика изменения концентрации аммония показывает, что за десять лет 1-я стадия процесса разложе-

ния белков проходит полностью, а концентрация аммония уменьшается до фоновых значений. Вторая стадия разложения белков не успевает произойти полностью в срок 10–15 лет, что выражается в максимальных концентрациях нитратов в этот период времени. Сравнение длительности захоронения 15-летней и 72-летней давности показывает [13], что концентрации общего азота при этом отличаются очень незначительно. Этот факт позволяет предположить, что даже за такой длительный срок система не успевает вернуться в первоначальное состояние.

По данным С.И. Сулейменовой [11], окисляемость подземных вод окско-днепровского водно-ледникового горизонта на кладбище составила 30 мг/л, концентрация (в мг/л) нитратов – 13.6, аммонийного азота – 4897, нитритов – 1.1, хлоридов – 137. В водах родника, расположенного в 1200 м ниже по потоку от кладбища, концентрация нитратов и хлоридов составила, соответственно, 1.07 и 66.5 мг/л.

Результат происходящих биохимических и химических реакций, объединенных под общим названием минерализация, – образование более простых веществ, поступающих в окружающую среду и способных накапливаться или мигрировать в различных средах. Отрицательному воздействию подвергаются почвы, породы, поверхностные и подземные воды, растительность, а также опосредованно животный мир и человек.

Выявлена отрицательная роль техногенного загрязнения на интенсивность минерализации, а также процессов самоочищения почв не только на территории кладбищ, но и на прилегающих площадях. Участки с одинаковыми типами почв, нагрузками захоронений и удовлетворительными условиями эксплуатации, но с разной степенью загрязнения тяжелыми металлами от “допустимого” до “опасного” четко различаются по величине показателя, характеризующего интенсивность минерализации органического вещества, – отношению концентраций аммонийного и нитратного азота. Эти величины на участке с техногенным загрязнением достигали 4, а на контрольном – не более 1.2. То, что данный процесс обусловлен не продуктами минерализации, а техногенным загрязнением, подтверждается результатами обследования пограничных с кладбищами участков. В зоне техногенного загрязнения показатели отношения азота аммонийного к азоту нитратному (2.8–3.4) были выше, чем на территории с допустимым уровнем загрязнения (менее 1.0).

Таким образом, влияние кладбища на прилегающие территории можно оценить по загрязнению почв, пород зоны аэрации, подземных и поверхностных вод аммонийным азотом, нитратами, нитритами, хлоридами, гидрокарбонатами, по повышенным значениям окисляемости. Для оценки возможности самоочищения почв и пород необходимо оценить уровень техногенного загрязнения в районе расположения кладбища.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эколого-геохимическая оценка состояния почв и пород

Результаты химического анализа почв и пород представлены в табл. 1. Анализ полученных результатов показал, что в большинстве случаев наиболее высокие концентрации химических веществ, поступающих с атмосферными осадками, загрязненными промышленными выбросами, характерны для почвенного горизонта. При инфильтрации атмосферных осадков загрязняющие вещества мигрируют вниз по профилю зоны аэрации. Увеличение содержания металлов в более глубоких интервалах зоны аэрации наблюдается на сорбционном геохимическом барьере – суглинистых прослойках.

Превышения гигиенических нормативов незначительны и зафиксированы по цинку и меди: по Cu – в скв. 3 (1.4–4.1 ОДК); по Zn – в скв. 2 (1.2 ОДК). Таким образом, зона загрязнения расположена вдоль реки на удалении от кладбища.

В ряде случаев отмечена так называемая “настораживающая” информация – содержание в почвах и породах цинка, меди, мышьяка и никеля, близкое к ПДК или ОДК. Так, в ближайшей к кладбищу скв. 6 зафиксировано содержание Ni – 0.95 ОДК, а на участке у реки содержания Cu и Zn – 0.9 ОДК.

Анализ данных по структуре загрязнения почв и пород относительно фоновых значений и интенсивности концентрирования химических элементов показал, что практически во всех скважинах содержания Hg, Zn и Cu превышают фон, и для них характерны слабо- и среднеконтрастные аномалии. Для *ртуты* слабоконтрастные аномалии фиксируются на разных глубинах в скв. 1, 2, 4–7. Максимальные величины коэффициента концентрации Hg невысоки – $K_c = 2.0–2.7$. Отметим, что ртутное загрязнение характерно для почв, пород

Таблица 1. Концентрация химических веществ в почвах и породах, мг/кг

№ скв/глуб. отбора, м	pH (солевой)	Hg	As	Pb	Cr	Cd	Mn	Cu	Ni	Co	Zn	Нефте-продукты
1/0.0–0.2	5.73	0.20	0.71	11.7	24.4	0.14	411.1	22.4	7.7	0.81	45.2	19.0
1/1.5–1.7	3.59	0.16	0.68	6.6	22.1	0.07	375.2	13.3	19.0	0.81	28.8	н/о
1/2.8–3.0	7.86	0.08	0.51	7.0	6.6	0.02	109.5	2.6	5.1	0.18	34.3	н/о
1/6.0–6.2	7.87	0.06	0.26	3.5	5.2	0.02	133.1	1.9	7.7	0.22	17.9	н/о
1/21.0–21.2	7.60	0.05	0.96	4.7	2.1	0.06	394.4	14.3	16.8	0.70	15.3	н/о
1/11.2–11.4	7.57	0.06	1.04	2.6	29.0	0.01	132.2	9.9	7.3	0.25	36.6	н/о
2/0.0–0.2	6.31	0.11	0.55	10.7	25.4	0.15	391.0	20.7	10.3	0.74	17.0	11.0
2/1.8–2.0	4.05	0.08	0.12	5.8	15.7	0.04	318.6	8.7	11.9	0.51	19.0	н/о
2/3.6–3.7	7.56	0.10	0.33	2.9	7.5	0.02	105.5	8.0	10.9	0.17	13.2	н/о
2/16.0–16.2	7.74	0.06	1.19	3.0	6.7	0.01	55.3	1.9	5.0	0.14	63.5	н/о
3/0.0–0.2	6.87	0.09	0.67	9.1	26.1	0.12	375.7	135.7	12.1	0.88	21.7	н/о
3/1.8–2.0	7.46	0.05	1.07	4.6	14.4	0.06	314.9	14.0	10.7	0.65	12.8	н/о
3/7.1–7.2	7.83	0.05	0.43	1.8	7.3	0.05	338.5	47.3	5.4	0.27	21.4	н/о
3/9.8–10.0	7.85	н/о	0.67	1.9	5.9	0.02	126.3	14.7	3.5	0.25	19.9	24.0
4/0.0–0.2	5.98	0.10	0.58	8.8	29.3	0.07	327.3	16.4	7.7	0.55	27.4	22.0
4/2.0–2.2	6.81	0.15	0.45	5.7	18.6	0.05	282.8	9.4	15.0	0.62	17.1	н/о
4/3.8–4.0	7.31	0.06	0.26	2.0	8.6	0.03	239.7	2.5	5.3	0.18	18.8	н/о
4/6.0–6.2	6.75	н/о	0.95	4.7	7.0	0.02	35.7	3.0	3.4	0.17	11.2	29.0
4/9.8–10.0	7.23	0.07	0.44	8.9	13.7	0.05	195.9	5.8	10.6	0.44	15.4	н/о
5/2.4–2.6	5.17	0.23	0.41	1.9	10.6	0.06	151.8	4.8	8.3	0.30	13.2	н/о
5/5.5–5.7	7.20	0.10	0.58	3.6	9.2	0.02	87.4	3.0	2.3	0.14	15.3	н/о
5/10.5–10.7	7.80	0.05	0.49	3.8	15.2	0.06	263.8	7.1	13.5	0.50	15.1	10.80
6/3.5–3.8	5.81	н/о	0.89	1.6	13.9	0.04	154.0	4.4	11.5	0.25	13.6	н/о
6/10.3–10.5	6.76	0.27	0.68	4.6	7.4	0.11	320.1	10.4	19.0	0.43	11.6	н/о
6/10.7–10.9	7.74	0.07	1.19	2.5	6.2	0.11	333.5	8.1	5.6	0.59	19.2	н/о
7/1.0–1.1	8.21	0.12	0.52	4.8	14.1	0.03	234.8	5.4	4.7	0.30	9.3	н/о
7/3.0–3.1	8.29	н/о	0.57	2.0	17.7	0.03	164.5	29.1	6.5	0.16	14.8	н/о
8/2.3–2.5	6.53	н/о	0.67	5.8	8.5	0.07	322.0	7.9	10.4	0.51	17.0	н/о
8/5.0–5.2	8.51	0.05	0.68	2.5	6.3	0.04	166.2	3.6	6.2	0.21	20.7	н/о
8/7.5–7.7	7.90	0.06	0.49	4.2	11.4	0.06	258.9	7.4	12.8	0.44	201.9	н/о

и донных отложений на территории г. Москвы и Московской обл. и обусловлено пылегазовыбросами промышленных предприятий – теплоэнергетических (ТЭЦ и др.), цементных предприятий, а также предприятий, в производственном цикле которых используется Hg. Для меди отмечается среднеконтрастная аномалия в верхней части разреза в скв. 3 ($K_c = 5.0$), слабоконтрастная в скв. 3 в интервале 7.1–7.2 м ($K_c = 1.8$) и в скв. 7 в интервале 3.0–3.2 м ($K_c = 1.1$). Еще более локальны аномалии цинка: среднеконтрастная аномалия наблюдается в скв. 8 ($K_c = 3.9$) и слабоконтрастная – в скв. 2 в интервале 16.0–16.2 м ($K_c = 1.8$). Величины суммарного показателя загрязнения Z_c не превышают 5.0. Категория загрязнения почв и пород – допустимая ($Z_c < 16$).

Сравнение фактических содержаний химических элементов с кларками выявило более высокие значения коэффициентов концентрации для более

широкого спектра элементов. Так, максимальные значения K_c для Ni – 9.5, Mn – 79, Zn – 4.0, для Co – 2.3, Cd – 2.2, As – 1.2. За исключением марганца коэффициенты концентрации элементов невысоки, и суммарный показатель загрязнения, при расчете которого не учитывался Mn, ниже 16, что соответствует допустимой категории загрязнения.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что на период исследований почвы и породы на прилегающей к кладбищу территории незначительно загрязнены тяжелыми металлами и мышьяком, интенсивность концентрирования данных химических элементов в целом невысока.

Нефтепродукты в почвах и породах обнаружены не только в поверхностном слое (в скв. 1, 2, 4), но и в более глубоких слоях: в скв. 3–5, однако их содержание незначительно – до 29 мг/кг (0.1 ПДК). Наличие нефтепродуктов в верхнем

слое связано с выбросами автотранспорта, а в более глубоких частях разреза – с поступлением нефтепродуктов с подземными водами со стороны автозаправочной станции, расположенной выше по потоку.

Биологическое загрязнение почв и пород установлено по несоответствию количества кишечных палочек и яиц гельминтов гигиеническим требованиям. Наиболее значительное биологическое загрязнение кишечными палочками (238 и более при норме 1–9) выявлено не только в поверхностном слое (скв. 1, 4), но и в более глубоких слоях (скв. 1, 7). Менее существенное загрязнение обнаружено на разных глубинах во всех скважинах. Во всех скважинах патогенные энтеробактерии отсутствуют, энтерококки менее 1. Яйца гельминтов также обнаружены не только в поверхностном слое, но и на глубине 11.0–11.4 м. Выявленное загрязнение грунтов кишечными палочками связано с выделениями живых организмов: экскрементами животных (лошадей, собак и др.), органическими удобрениями, в более глубоких горизонтах – с утечками из канализационного коллектора. Срок живучести бактерий группы кишечной палочки ограничен (от 30 до 300, реже 400 суток), бактериальное загрязнение ограничено по площади, и при ликвидации источника загрязнения носит временный характер.

Эколого-геохимическая оценка состояния поверхностных и подземных вод

Поверхностные воды характеризуются величиной сухого остатка 0.32–0.33 мг/л и щелочной реакцией ($\text{pH} = 8.53\text{--}8.57$). Концентрации соединений азота – индикаторов влияния кладбища, и уровень загрязнения по сравнению с нормативами для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: NH_4^+ – 0.64–0.88 мг/л (0.3–0.5 ПДК), NO_2^- – 3.29–4.30 мг/л (1.0–1.3 ПДК), NO_3^- – 6.41–8.2 мг/л (0.14–0.18 ПДК), т.е. фиксируется только незначительное нитритное загрязнение. Поверхностные воды также загрязнены марганцем (3.4–4.6 ПДК). Концентрации остальных компонентов не превышают нормативов. Уровень загрязнения вод по нормативам для рыбохозяйственных водоемов существенно выше (ПДК): NH_4^+ – 1.3–1.8; NO_2^- – 23–404; NO_3^- – 0.1–0.2; Mn^{2+} – 46–34; Fe общ. – 6.9–7.3; нефтепродукты – 1.4. По микробиологическим показателям обнаружено несоответствие числа термотолерантных колиформных бактерий нормативным требованиям. Таким образом, гидрохимическая ситуация в поверхностных водах

может считаться неблагоприятной по нормативам для рыбохозяйственных водоемов и микробиологическим показателям. По компонентам – индикаторам влияния кладбища, повышенные концентрации отмечены по аммонийному азоту и нитритам.

Подземные воды первого от поверхности водоносного горизонта в среднечетвертичных флювиогляциальных песках московского возраста характеризуются величиной сухого остатка от 157 до 950 мг/л (табл. 2), что соответствует нормативным требованиям. Следует отметить, что в ближайших к кладбищу скважинах 1, 4, 5, 6 величина сухого остатка не превышает 450 мг/л, а максимальные значения зафиксированы в наиболее удаленной от кладбища скв. 7. Воды нейтральные и слабощелочные ($\text{pH} = 7.43\text{--}8.23$), относительно повышенные величины pH отмечены в ближайших к кладбищу скв. 1, 4, 5, а также в расположенной у реки скв. 8. Значения *бихроматной окисляемости* (ХПК) – от 2.9 до 32 мг/л, наиболее высокие значения отмечены в скв. 8, в ближайшей к кладбищу скв. 4 – 7.14. Содержание *взвешенных веществ* изменяется в значительных пределах – от значений ниже чувствительности анализа до 56940 мг/л (до 403 ПДК). В связи со значительным количеством взвешенных веществ химический анализ проводился после отстаивания.

Пределы изменения концентрации *хлоридов* в подземных водах – от значений ниже чувствительности анализа до 116.3 мг/л, что не превышает норматива (350 мг/л) (рис. 3а). Наиболее высокое содержание *хлоридов* в подземных водах выявлено в скв. 6. Для сравнения укажем, что в расположенных рядом скв. 1 и 4 концентрация *хлоридов* в 12–40 раз ниже, а в скв. 5 – ниже чувствительности анализа. Концентрация *сульфатов* изменяется от 9.94 до 116.25 мг/л и не превышает нормативного значения 500 мг/л. Относительно повышенные содержания *сульфатов* зафиксированы в ближайшей к кладбищу скв. 4, и это практически единственный случай, когда в водах скважины обнаружена наиболее высокая для исследуемой территории концентрация химического элемента.

Влияние кладбища в основном может проявляться в загрязнении подземных вод соединениями азота и фосфатами, в этой связи наиболее важно выяснить уровень загрязнения подземных вод данными компонентами. Диапазон изменения концентрации в подземных водах одного из маркеров влияния кладбища – *нитратов*, значителен и составляет 1.83–74.5 мг/л. Загрязнение зафиксировано только в скв. 7 на глубине 2.5 м

Таблица 2. Химический состав подземных и поверхностных вод

№ скв/ глуб. от- бора, м	NH ₄ ⁺ аммо- ний	Взв. в-ва *	Взв. в-ва**	Сухой ост.	Нефте- про- дукты	Ca ²⁺	NO ₃ ²⁻	pH	Mn ²⁺	Fe _{общ}	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ²⁻	ХПК	Cl ⁻
	мг/л														
1/5.0	н/о***	21.0	56940	450	0.083	80.6	1.83	8.00	0.74	0.059	0.75	9.94	н/о	2.90	2.9
1/12.4	0.73	1.0	12100	227	0.814	97.5	22.7	7.97	0.90	0.152	1.92	38.75	н/о	7.59	19.4
1/21.0	0.05	н/о	24630	431	0.059	59.6	0.06	8.11	1.45	0.133	0.46	33.78	н/о	10.50	4.0
2/3.0	0.49	17.0	590	378	3.07	119.0	36.2	7.65	3.55	0.071	1.42	64.59	н/о	23.90	56.4
2/15.0	0.03	5.0	1530	489	2.47	61.4	2.57	8.05	4.47	0.110	0.89	31.80	н/о	7.44	1.74
3/7.5	1.17	4.0	3340	517	0.254	160.0	38.0	7.75	2.96	0.047	1.03	78.50	н/о	10.80	95.3
3/9.8	0.33	9.0	970	645	0.337	157.0	35.0	7.59	2.57	0.052	0.62	96.38	н/о	16.40	95.5
4/4.9	0.34	4.0	1920	438	0.293	64.5	2.69	8.21	4.23	0.058	0.87	116.25	н/о	7.14	9.8
5/2.75	0.75	4.0	1470	271	0.387	58.4	3.5	8.11	2.28	0.122	2.17	66.57	н/о	9.10	н/о
5/3.5	0.32	н/о	4.0	254	0.184	62.3	10.9	8.17	0.65	0.204	3.23	43.72	н/о	20.20	н/о
7/2.5	1.09	11.0	1040	507	0.132	123.0	74.5	7.90	2.97	0.040	5.71	33.78	н/о	6.40	28.0
7/7.5	н/о	10.0	230	950	0.456	107.5	23.9	7.90	1.93	0.035	0.94	11.92	н/о	7.04	59.8
6/6.0	0.49	1.0	60	354	0.081	19.5	13.6	7.43	3.25	0.030	2.36	10.93	н/о	14.30	116.3
8/4.0	0.44	н/о	1440	380	0.428	60.5	11.9	8.23	5.02	0.029	8.08	46.70	н/о	32.00	32.4
Ручей т. А	0.64	н/о	110	323	0.068	72.8	8.2	8.53	0.46	0.237	3.29	37.76	н/о	13.60	17.5
Ручей т. В	0.88	н/о	10	329	0.01	72.6	6.41	8.57	0.34	0.232	4.30	15.90	н/о	10.70	17.4

* Взвешенные вещества в отстоявшейся воде;
** Взвешенные вещества во всем объеме;
*** н/о – концентрация ниже чувствительности анализа.

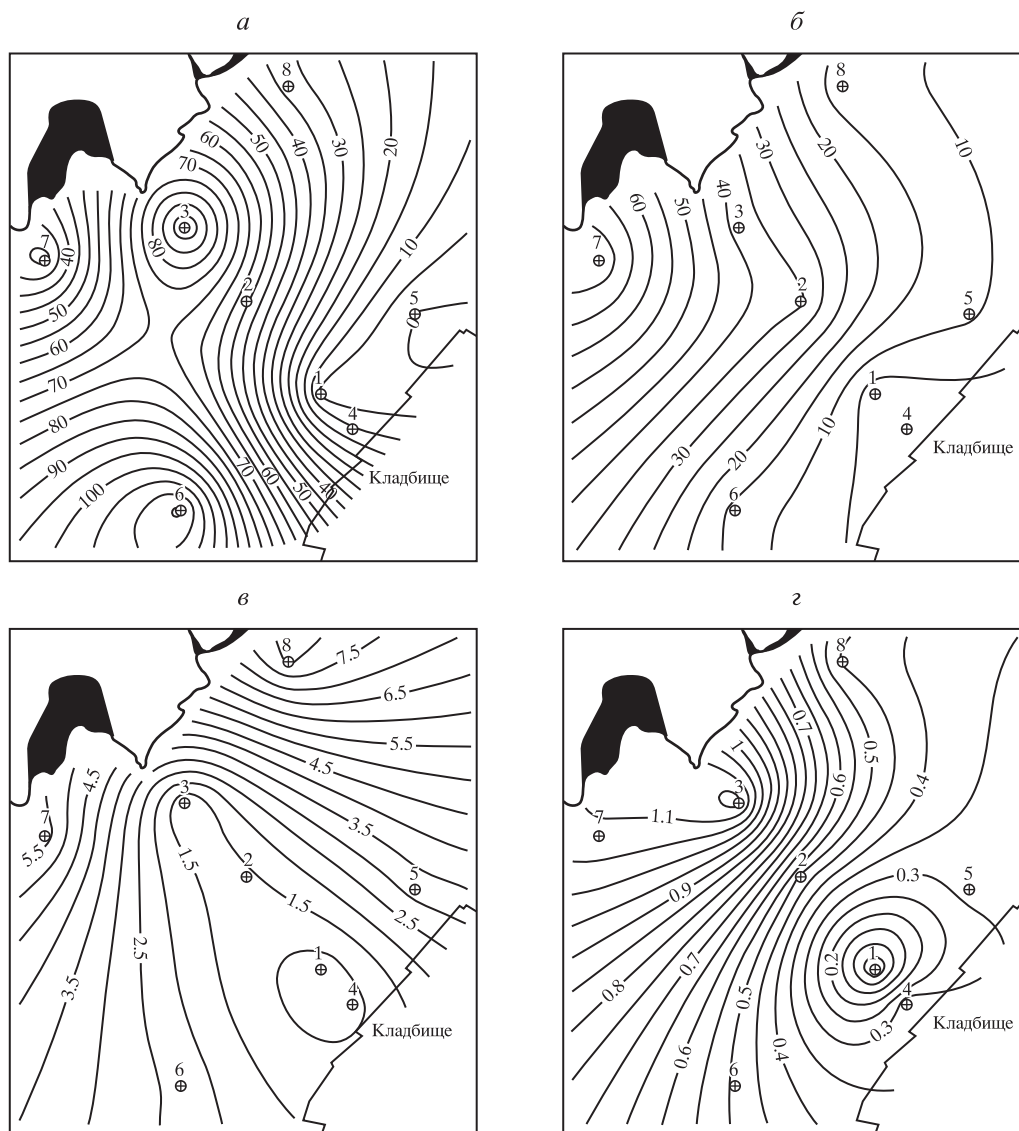


Рис. 3. Изолинии концентрации (мг/л): а – хлоридов, б – нитратов, в – нитритов, г – иона аммония в подземных водах водоносного горизонта в среднечетвертичных флювиогляциальных отложениях.

(рис. 3б). Тем не менее величины близкие к ПДК (0.8 ПДК), установлены и на других участках – в районе скв. 2 и 3. В подземных водах ближайшей к кладбищу скв. 4 концентрация нитратов значительно ниже – 2.69 мг/л (0.06 ПДК), чем в скв. 1, 5, 6 – 13.6 мг/л (0.3 ПДК). Концентрация *нитритов* – от 0.62 до 8.08 мг/л. Нитритное загрязнение обнаружено только в скважинах, удаленных от кладбища и расположенных у реки – в скв. 7 (1.7 ПДК) и в скв. 8 (2.5 ПДК) (рис. 3в). Однако следует отметить повышенные концентрации нитритов в скв. 5 (0.7–0.8 ПДК). Концентрация *аммонийного азота* не превышает 1.17 мг/л, что ниже ПДК. Наиболее высокие концентрации характерны для подземных вод в относительно удаленных от кладбища скв. 3 и 7, тогда как в ближайших

скв. концентрация компонента не превышает 0.75 мг/л (рис. 3г). Фосфаты в подземных водах не обнаружены.

На исследуемой территории подземные воды характеризуются значительным загрязнением марганцем, и практически отсутствует загрязнение железом. Концентрация железа в подземных водах составляет 0.029–0.122 мг/л. Загрязнение *Mn* установлено во всех скважинах и составляет 6.5–50.2 ПДК. Содержание *Fe* и *Mn* в водах в существенной степени обусловлено их поступлением из водовмещающих пород, однако наблюдаемые на участке исследования высокие концентрации *Mn*, по-видимому, формируются и под влиянием использования минеральных и органических марганцесодержащих удобрений.

На отдельных участках выявлено *нефтяное загрязнение* подземных вод. В целом концентрация нефтепродуктов изменяется от 0.081 до 3.07 мг/л. Наиболее высокий уровень загрязнения отмечается в скв. 2 (10.2 ПДК) и скв. 3 (9.8 ПДК). Источники поступления нефтепродуктов в подземные воды могут быть расположены как выше по потоку подземных вод, где находится бензозаправочная станция и автодороги, так и на рассматриваемой территории (автотранспорт).

Химический состав подземных вод водоносного горизонта в *нижнечетвертичных флювиогляциальных отложениях* охарактеризован результатами опробования только одной скважины – скв. 1, расположенной в непосредственной близости от кладбища. Подземные воды горизонта слабощелочные – $\text{pH} = 7.97$, незначительна величина сухого остатка – 0.23 г/л. Превышение нормативов установлено только по нефтепродуктам – 2.7 ПДК и марганцу – 9 ПДК. Содержание соединений азота: NH_4^+ – 0.73 мг/л (0.4 ПДК), NO_2^- – 1.92 мг/л (0.5 ПДК), NO_3^- – 22.7 мг/л (0.5 ПДК). Фосфаты в подземных водах не обнаружены. Повышенные по сравнению с фоном концентрации нитритов, нитратов, нефтепродуктов свидетельствуют о наличии гидравлической связи между данным и залегающим выше водоносным горизонтом.

Характеристика химического состава подземных вод *водоносного горизонта в песках волжского яруса верхней юры (J_3v)* приводится по результатам опробования скв. 1 и 2. Подземные воды маломинерализованные (величина сухого остатка подземных вод – 0.43–0.49 г/л), слабощелочные ($\text{pH} = 8.05$ – 8.11). Превышение нормативов установлено только для нефтепродуктов в скв. 2 – 8.2 ПДК и марганца – 14.5–44.7 ПДК. Следует отметить, что загрязнение вод нефтепродуктами в скв. 2 отмечалось и в вышележающем водоносном горизонте, что может свидетельствовать о наличии гидравлической связи между горизонтами. Содержание соединений азота очень незначительно: NH_4^+ – 0.03–0.05 мг/л (0.02–0.03 ПДК), NO_2^- – 0.46–0.89 мг/л (0.14–0.027 ПДК), NO_3^- – 0.06–2.57 мг/л (до 0.06 ПДК).

Результаты санитарно-микробиологического и санитарно-гельминтологического исследования подземных вод исследованных горизонтов выявили незначительное превышение санитарных норм по содержанию общих колиформных бактерий (в 1.26 раз) в скв. 2 (3.5 м) и в скв. 1 (6.0 м). Наличие данного вида бактериального загрязнения связано с кишечными палочками – микроорганизмами естественной микрофлоры человека и животных, срок жизни которых не превышает

300–400 суток. В отличие от поверхностных вод, в подземных водах, поступающих с территории кладбища, термотолерантные колиформные бактерии отсутствуют. Это позволяет сделать вывод, что кладбище не является источником биологического загрязнения поверхностных вод.

Таким образом, в предполагаемой зоне влияния кладбища гидрогеохимическая обстановка в трех исследуемых водоносных горизонтах по индикаторам влияния кладбища (аммонийному азоту, нитритам, нитратам, хлоридам, окисляемости) в целом может рассматриваться как удовлетворительная. Максимальные значения окисляемости, концентраций аммонийного азота, нитритов, нитратов выявлены в скв. 7 и 8, расположенных наиболее далеко от кладбища.

Тот факт, что в подземных водах в ближайших к кладбищу скважинах концентрации нитратов выше концентраций аммонийного азота, может свидетельствовать о том, что в рассматриваемый период приоритетная стадия разложения вещества на кладбище – нитрификация. Переход в стадию нитрификации относится к благоприятным факторам, так как свидетельствует о переходе разложения в завершающую стадию. В противном случае незавершенность минерализации могла бы служить основанием для неблагоприятного прогноза влияния кладбища на природные среды. Концентрации в подземных водах нитритов в большинстве случаев сопоставимы с концентрациями нитратов и иона аммония, что также характерно для процессов нитрификации.

Наблюдаемое соотношение соединений азота можно объяснить и другими причинами. Трансформация аммонийного азота в нитриты и далее в нитраты может происходить не на участках захоронения, а в процессе миграции соединений азота с различных участков кладбища. Кроме того, возможна сорбция иона аммония породами. В этом случае на участках захоронения могут наблюдаться более высокие концентрации иона аммония и более низкие – нитратов. Единственный способ уточнения данного предположения – химический анализ проб грунтов и подземных вод, отобранных непосредственно на кладбище, что невыполнимо по вполне понятным причинам. Однако в связи с незначительной протяженностью путей миграции наиболее вероятно, что процессы нитрификации протекают уже непосредственно на участках захоронения.

Наличие максимальных концентраций нитратов и нитритов в удаленных от кладбища скважинах может быть обусловлено следующими

причинами. Во-первых, можно предположить, что в начальные периоды функционирования кладбища интенсивность заполнения была существенно выше и соответственно концентрации соединений азота были более значительные. Высокие концентрации нитратов в более удаленных скважинах могут быть обусловлены загрязнением, сформировавшимся в более ранние периоды функционирования кладбища. Соответственно, в результате завершения процессов минерализации на большей части участков, с уменьшением интенсивности последующего захоронения происходит уменьшение поступления соединений азота в подземные воды. На ближайших к кладбищу участках происходит постепенное уменьшение загрязнения подземных вод соединениями азота. Во-вторых, можно предположить, что при существовавшей и существующей интенсивности захоронения на кладбище загрязнение подземных вод всегда было невысоким, а загрязнение подземных вод в более удаленных скважинах происходит под влиянием других дополнительных источников (внесение органических и минеральных удобрений или утечек из канализационного коллектора, который проходит по этой территории).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов изучения эколого-геохимического состояния компонентов природной среды на территории, прилегающей к кладбищу, позволил сделать следующие выводы.

Почвы и породы незначительно загрязнены тяжелыми металлами и мышьяком, интенсивность концентрирования данных химических элементов в целом невысока. Низкий уровень техногенного загрязнения тяжелыми металлами, вероятно характерный и для территории кладбища, создает благоприятные условия для минерализации и самоочищения грунтов как на территории кладбища, так и в зоне его влияния.

Гидрогеохимическая обстановка в трех исследуемых водоносных горизонтах по компонентам – индикаторам влияния кладбища (аммонийному азоту, нитритам, нитратам, хлоридам, окисляемости) – удовлетворительная. Максимальные значения индикаторов зафиксированы в скважинах, расположенных наиболее далеко от кладбища. Нетипичное распределение загрязняющих веществ в подземных водах указывает на возможность существования разных сценариев формирования загрязнения подземных вод и необходимость их проверки для текущей и прогнозной оценки влияния кладбища.

Для выяснения условий формирования загрязнения на прилегающей к кладбищу территории, установления возможных источников поступления загрязняющих веществ в подземные воды были использованы методы численного моделирования геофильтрационных и геомиграционных процессов, которые позволили оценить направления, скорости, время миграции загрязняющих веществ с учетом различного расположения источников загрязнения, оценить размеры зоны влияния кладбища. Результаты имитационного моделирования влияния кладбища и других источников на формирование загрязнения подземных и поверхностных вод будут представлены в последующих публикациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилькович Р.В., Вакар Н.Г., Федюнин В.Н. Концепция социально-экологического ведения кладбищенского хозяйствования в Московской области // Проблемы окружающей среды и природ. ресурсов: Обзор. информ. ВИНТИ. 1997. № 5. С. 51–107.
2. Войткевич Г.В., Мирошников А.Е. Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1977. 183 с.
3. Гордон И.М., Ханин М.Л., Хорша И.И., Гордон Л.Ф. Опыт санитарного обследования почвы старых кладбищ Одессы // Гигиена и санитария. 1936. № 5. С. 64–68.
4. Драчев С.М. Исследования почвы кладбищенских участков г. Москвы // Тр. Сан. Института им. Ф.Ф. Эрисмана и Санитарно-эпидемиологического п/о Мосздравотдела "Материалы по исследованию почв кладбищ и свалочных мест в г. Москве". М., 1929. С. 82–102.
5. Информационно-методическое письмо ЦГСЭН 30–05/239. от 14.06.2002 г. "О контроле грунта, перемещаемого в ходе проведения строительных работ на территории г. Москвы".
6. Корякин И.С. Городские кладбища Казахстана // Гигиена и санитария. 1936. № 5. С. 64–68.
7. Машеистин Е.Н. Микроорганизмы и самоочищение почвы. М.: Изд.-во АН СССР, 1954. 651 с.
8. Найнштейн С.Я., Тарков М.И., Мереток Г.В., Тимченко Л.А. Актуальные вопросы гигиены почвы // Кишинев: ШТИИИЦА, 1985, 187 с.
9. Никитин М.Я. Интенсивность разложения трупов при погребении в братских и индивидуальных могилах // Гигиена и санитария. 1948. № 11. С. 16–18.
10. Романова Г.И., Кузьмина Н.П. Оценка самоочищающей способности воды р. Москвы в черте города // Экологические проблемы Москвы и Московской области. Состояние водных систем. М.: ИНИОН РАН, 1992. 184 с.

11. Сулейменова С.И. Микробиологические превращения органического вещества и азота в зависимости от сроков затопления почвы // Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Алма-Ата, 1974. 22 с.
12. Федынский В.И. Кладбищенский кризис в Москве и кремация // Коммунальное хозяйство. 1926. № 9–10.
13. Федынский В.И. К вопросу о сроках кладбищенского периода // Тр. Сан. Института им. Ф.Ф. Эрисмана и Санитарно-эпидемиологического п/о Мосздравотдела "Материалы по исследованию почв кладбищ и свалочных мест в г. Москве". М., 1929. С. 71–81.

ASSESSMENT OF CEMETERY IMPACT ON CONTAMINATION OF GROUNDWATER AND OTHER ENVIRONMENT COMPONENTS

I. V. Galitskaya, I. A. Pozdnyakova, G. I. Batrak, I. A. Kostikova

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences
Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: galgeoenv@mail.ru*

The necessity of geoenvironmental research in the territory adjacent to the cemetery has arisen in connection with its planned building up. Assessment of geoenvironmental conditions was based on the comprehensive studies of vadose zone, water-bearing deposits, ground- and surface water. The results of ecogeochemical research were used for developing the conceptual model of ground- and surface water contamination.

Keywords: *groundwater, contamination, mineralization of organic substance, nitrogen compounds, chloride ion, oil products, sanitary protective zone.*