



УДК 502.55+556.314

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ ПОЛИГОНОВ ЗАХОРОНЕНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.Л. Бочаров, П.Н. Крамарев, Л.Н. Строгонова

Воронежский государственный университет

В работе оцениваются современные геологические, гидрогеологические и гидрохимические условия в зонах влияния полигонов промышленных отходов теплоэлектростанций; анализируются возможные неблагоприятные последствия для окружающей среды в результате строительства и эксплуатации полигонов. Особое внимание уделено влиянию полигонов на гидрогеологическую и гидрогеохимическую обстановки, поскольку подземные воды оказываются наиболее уязвимы к неблагоприятному воздействию золошлаковых отходов теплоэлектростанций.

В настоящее время в Российской Федерации более двух третей общего количества электрической и тепловой энергии поставляют теплоэлектростанции (ТЭЦ), работающие на углеводородном органическом топливе. В отдельных регионах, бедных гидроэнергетическими ресурсами, теплоэлектростанции до сих пор являются основным источником энергии. В результате работы этих станций образуется большое количество отходов, часто не подлежащих вторичному использованию и требующих безопасного захоронения на специальных полигонах [1–3]. До последнего времени основное внимание уделялось строительству и эксплуатации полигонов твердых бытовых и радиоактивных отходов, захоронению жидких отходов в глубоко залегающих горизонтах осадочных горных пород, их геоэкологической оценке [4–11]. Однако, как показали исследования последних лет, представляет опасность для окружающей среды и твердые золошлаковые отходы теплоэлектростанций [2,12].

В качестве объекта исследований взят полигон золошлаковых отходов ТЭЦ-1 г. Воронежа. Она расположена в черте г. Воронежа на левом берегу Воронежского водохранилища вблизи впадения в него р. Песчанка. Теплоэлектростанция была построена и введена в эксплуатацию в 1932 г. для обеспечения энергией и теплом предприятий химической и авиационной промышленности и жилищно-коммунального сектора левобережья г. Воронежа. В качестве топлива используются уголь, мазут и природный газ, однако преобладающей составляющей в топливном ассортименте является каменный уголь. Перевод ТЭЦ-1 на природный газ приостанов-

лен ввиду постоянной повышающейся стоимости этого углеводородного сырья. Произошли изменения и в структуре использования в качестве топлива каменного угля. Донецкий уголь высокого качества заменен низкокачественным углем Кузнецкого бассейна как менее дорогостоящим. По качеству он значительно уступает Донецкому и содержит большое количество примесных компонентов, снижающих теплоотдачу.

В соответствии с санитарными нормами и правилами золошлаковые отходы относятся к 4 классу опасности как малоопасные, если они не характеризуются повышенной радиоактивностью и неконцерогенны [2]. Однако другие компоненты, содержание которых будет проанализировано ниже, являются загрязнителями окружающей среды, и поэтому необходимо захоронение золошлаковых отходов в специально оборудованных полигонах.

Действующие в настоящее время золошлаковые отвалы площадью 75,4 га введены в эксплуатацию в 1964 г. и расположены на территории ТЭЦ-1 в пойме реки Песчанка, в непосредственной близости от Воронежского водохранилища (рис. 1). Отвалы практически полностью заполнены. При отсутствии свободных площадей для золошлаковых отходов сильно затрудняется работа пылеугольных котлов теплоэлектростанций, в связи с чем существенно ограничиваются возможности по выработки электрической и тепловой энергии для города [2]. В целях сокращения объема золошлаковых отходов и повышения эффективности теплоэлектростанции в последнее 20-летие предпринимались меры по переводу производственного цикла на природный

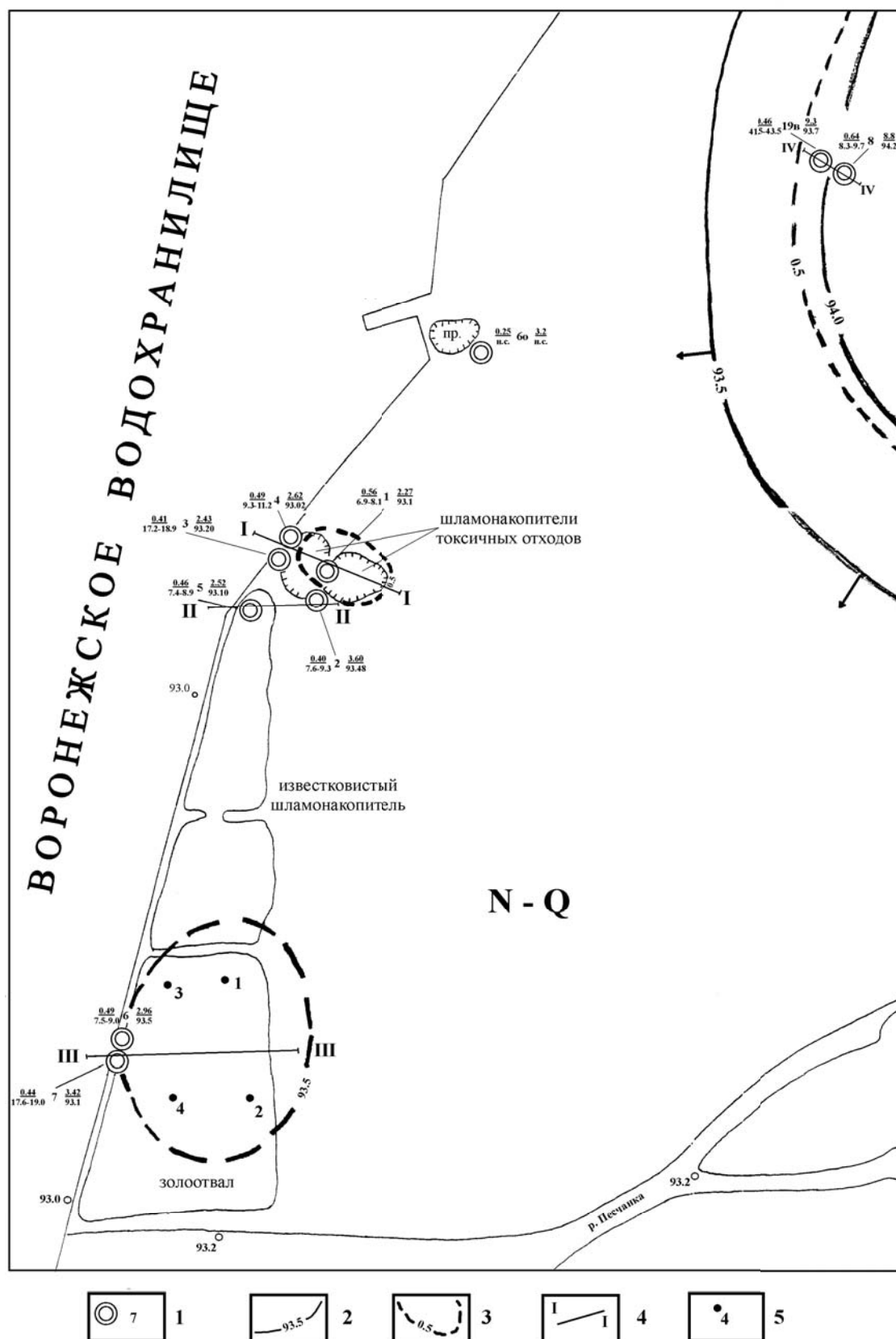


Рис. 1. Схематическая гидрогеологическая карта промплощадки ТЭЦ-1 г. Воронежа.

Масштаб 1:5000

1 – наблюдательные скважины; сверху номер скважины, слева в числителе – минерализация воды, г/л, в знаменателе – интервал опробования, м; справа в числителе – уровень подземных вод, м, в знаменателе – абсолютная отметка уровня подземных вод, м;
 2 – гидроизогипсы (установленные, предполагаемые); 3 – гзолинии минерализации подземных вод, г/л;
 4 – линии гидрогеологических разрезов; 5 – точки отбора проб

газ. Однако из-за постоянного увеличения стоимости этого органического топлива не удалось полностью перевести работу ТЭЦ-1 на природный газ и по-прежнему сохраняется высокий процент использования в качестве топлива каменного угля.

В течение ряда лет неоднократно предпринимались попытки использования золошлаковых отходов ТЭЦ-1 в качестве сырья в производстве цемента и шлаковых строительных блоков, однако из-за высокого содержания серы эти попытки не увенчались успехом. Ввиду возможного контакта с водной средой была изучена миграция микрокомпонентов в модельную среду. По результатам лабораторных испытаний содержание вредных веществ в водной вытяжке находится на уровне требований СанПиН [13]. Тем не менее близкое расположение золошлаковых отвалов к берегу водохранилища обуславливает попадание золошлаковой пыли в водных бассейн, в связи с чем возникла гидрохимическая аномалия, протяженностью около 1,5 км по латерали и 250 м в ширину, примыкающая к территории ТЭЦ-1. Аномалия тяжелых металлов, где главную роль играют такие элемента, как железо, марганец, титан, хром, ванадий, концентрация которых в 1,5–2 раза превышает

требования СанПиН, возникла в результате размывания отвалов дождевыми потоками и талыми водами, а также вследствие ветровой эрозии. Следует отметить, что и донные отложения водохранилища обогащены тяжелыми металлами [14–17].

Химический состав золошлаковых отходов, представленный смесью золы и шлаков, образующихся в результате сгорания угля, представлены в таблице 1. Обращает на себя внимание высокое содержание таких компонентов как Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , SO_3 , суммарного железа. Отношение Na_2O/K_2O колеблется в пределах 1,3–1,5; Al_2O_3/CaO – 3,5–4,2. Обращает на себя внимание высокое содержание воды, достигающее 10–10,5 %.

Уровень содержания микроэлементов в золошлаковых отходах в мг/кг в целом не превышает значений, установленных требованиями СанПиН (табл. 2), однако по таким металлам, как Mn, Ti, Cr, Cu, Pb, наблюдается превышение в 1,5–2 раза. Более высокие содержания этих элементов в водной среде, приводящие к формированию гидрохимической аномалии в прибрежной зоне водохранилища, объясняются вторичным их концентрированием вследствие упомянутых выше причин.

Таблица 1

Химический состав золошлаковых отвалов (содержание в % на высушенное при 110 °С вещество)

Компоненты	1(n = 22)		2(n = 19)		3(n = 30)		4(n = 28)	
	x	S	x	S	x	S	x	S
SiO_2	48,85	4,80	49,25	5,11	47,85	3,24	49,05	5,14
TiO_2	0,95	0,64	1,11	0,55	1,05	0,48	1,21	0,51
Al_2O_3	18,15	3,19	19,25	2,85	20,12	2,11	19,35	3,05
$FeO + Fe_2O_3$	10,50	4,11	10,14	3,68	11,92	2,85	10,65	2,61
MnO	0,15	0,08	0,20	0,15	0,11	0,07	0,12	0,08
MgO	1,90	0,65	1,58	0,48	0,60	0,32	1,88	0,40
CaO	4,55	1,38	3,94	1,64	4,17	1,11	4,16	1,58
Na_2O	2,10	0,91	2,02	1,02	2,25	0,68	2,11	2,01
K_2O	1,02	0,68	0,94	0,55	0,95	0,44	1,01	1,02
P_2O_5	0,06	0,05	0,10	0,08	0,123	0,05	0,08	0,06
SO_3	1,15	0,85	0,95	0,78	1,21	0,61	1,17	0,81
H_2O	6,21	1,88	5,12	2,19	4,95	1,88	4,12	2,12
CO_2	4,10	1,95	5,62	2,38	5,16	2,98	5,62	2,41
Сумма	99,69		100,22		100,46		100,53	

Примечание: 1. Порядковые номера в таблице соответствуют порядковым номерам точек отбора проб на рис. 1, 2; n – количество определений, x – среднее арифметическое, S – стандартное (среднее квадратическое) отклонение.

Таблица 2

Средние содержания микроэлементов в золоотвалах

№ пп	Элементы (содержание в N-x мг/кг грунта)													
	Mn	Ti	V	Cr	Zr	Nb	Be	Sc	Y	Yb	Ba	Sr	Ga	Cd
1(n=22)	100	150	20	15	4	0,6	Сл	Сл	0,8	0,4	30	15	6	3
2(n=19)	100	200	20	15	4	0,4	Сл	Сл	4	0,4	40	15	4	2
3(n=30)	100	250	15	15	10	0,4	Сл	0,4	2	0,6	30	20	5	1
4(n=28)	110	180	25	15	4	1	0,1	0,2	3	0,5	30	18	5	1

№ пп	Элементы (содержание в N-х мг/кг грунта)													
	Ni	Co	Mo	Cu	Pb	Ag	Bi	As	Zn	Sn	Ge	P	Li	Tl
1(n=22)	15	3	1	4	10	0,01	0,004	10	7	0,8	0,08	10	12	Сл
2(n=19)	10	3	1	6	15	0,03	0,004	10	10	1,5	0,07	30	7	Сл
3(n=30)	8	3	0,25	4	10	0,03	0,005	10	10	0,8	0,15	30	7	Сл
4(n=28)	18	8	1	5	15	0,02	0,01	15	8	1	0,2	20	8	0,1

Примечание: Условные обозначения см. в табл. 1.

Для устройства полигона золошлаковых отходов выделен и оборудуется участок на юго-восточной окраине г. Воронежа. Участок представляет собой выработанный песчаный карьер в 8,86 га на необлесенной территории государственного лесного фонда Новоусманского лесничества (рис. 2). Карьер находится в границах городской черты г. Воронежа и территориально входит в Левобережный район города. В течение ряда лет он используется для несанкционированной свалки строительного и бытового мусора (табл. 3).

Полигон золошлаковых отходов расположен на водораздельном участке с очень малой площадью водосбора (0,3 км²). Лесные насаждения, плоскозамкнутый микрорельеф, песчаные почвы способствуют полной аккумуляции весеннего и дождевого стоков. Какие-либо поверхностные водоемы и водотоки в непосредственной близости от полигона отсутствуют. Ближайшим водоемом является Воронежское водохранилище, расположенное в 2 км к западу от полигона золошлаковых отходов.

Геологическое строение участка полигона рассмотрено по материалам трех разведочных скважин, пробуренных до глубины 60 м. Эти скважины вскрыли четвертичные и неогеновые отложения [18–20]. Неогеновая система представлена кривоборским комплексом верхнего плиоцена (N₂³kr). Отложения кривоборского комплекса представлены песками среднезернистыми желтого, светло-желтого цвета, иногда охристыми, с

линзами суглинка 5–7 см толщины. В верхней части разреза кривоборского комплекса встречаются прослои глины мощностью 1,2–1,5 м. Полная мощность отложений кривоборского комплекса в пределах полигона достигает 40 м. Залегают неогеновые отложения на глинах нижнешигровской подсвиты верхнего девона и перекрываются аллювием 2-й надпойменной террасы р. Дон.

Верхнечетвертичные отложения представлены аллювием 2-й надпойменной террасы (a₂III). Это мелко-среднезернистые пески желтого, коричневатого-желтого и желто-серого цвета без прослоев и линз глинистого материала. Мощность отложений 2-й надпойменной террасы составляет 15–16 м; абсолютная отметка залегания подошвы аллювия около 103 м.

Современные отложения представлены техногенными образованиями (thIV). Они слагают днище песчаного карьера и представлены преимущественно строительным мусором, перемешанным с песчано-глинистыми грунтами. Мощность техногенных отложений колеблется от 2 до 4 м.

Гидрогеологические условия участка полигона рассмотрены для первых от поверхности водоносных горизонтов, наиболее подверженных загрязнению в процессе сооружения и эксплуатации полигона [17, 21, 22]. Выделены следующие водоносные горизонты: водопроницаемый, периодически водоносный верхнечетвертичный аллювиальный горизонт (a₂III); водоносный верхнеплиоценовый терригенный горизонт (N₂³kr).

Таблица 3

Основные технические показатели участка полигона

№ пп	Наименование показателей	Единицы измерения	Значения показателей
1	Объем золошлаковых отходов, подлежащих захоронению	тыс. м ³	240,0
2	Годовое поступление	тыс. м ³	40,0
3	Расчетный срок работы полигона	лет	6
4	Размер санитарно-защитной зоны	м	300
5	Площадь рекультивируемых земель	га	5,0
6	Общая площадь участка:	га	8,86
	в том числе – производственная зона – котлован (постоянный отвод земель);	га	5,0
	вспомогательная зона (временный отвод земель)	га	3,86
7	Средняя глубина	м	6,5
8	Скважины гидрогеологического мониторинга	шт	9

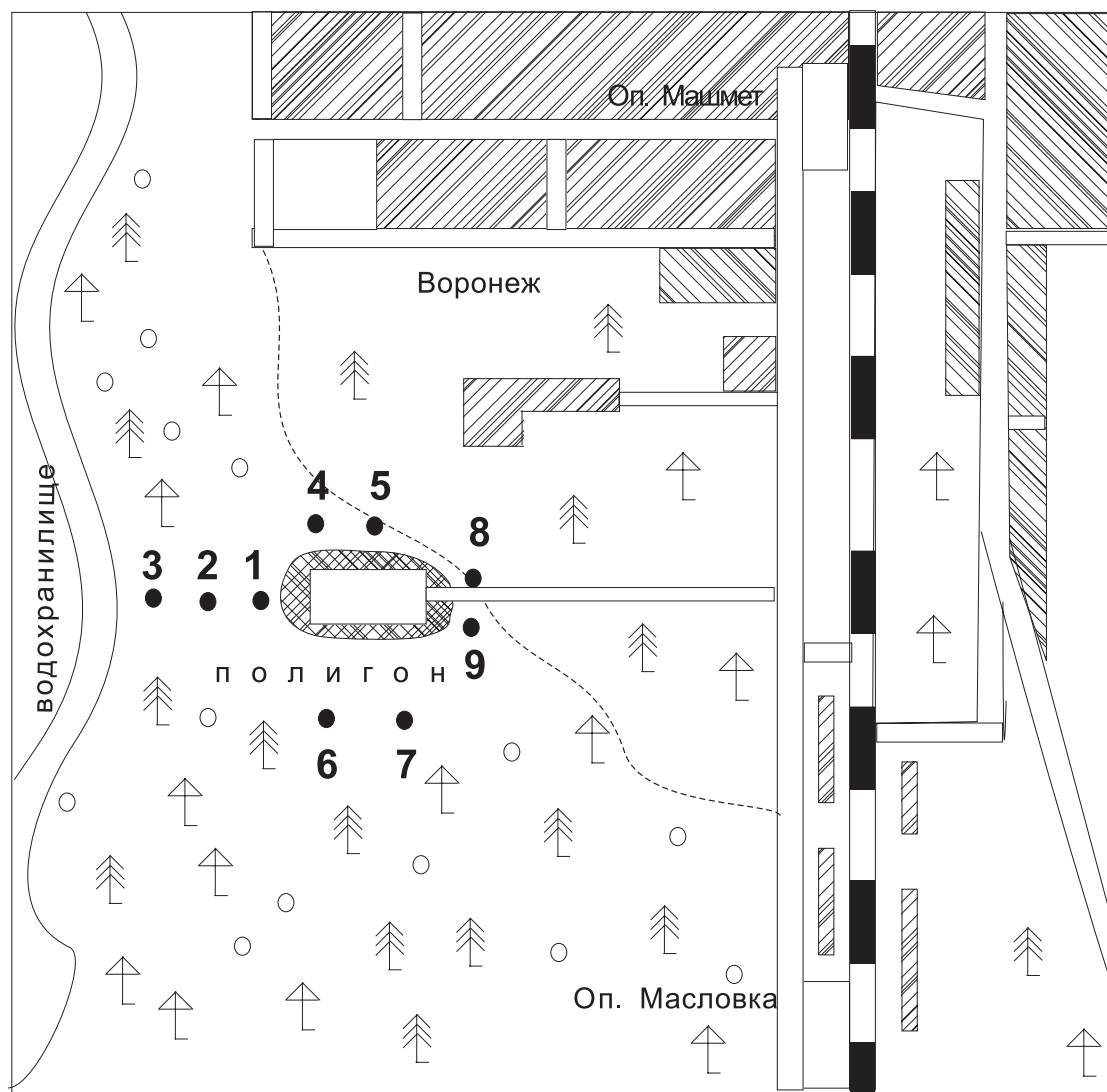


Рис. 2. Схема расположения полигона золошлаковых отходов. Масштаб 1:25000. Цифрами обозначены скважины гидрогеологического мониторинга

Водопроницаемый, периодически водоносный верхнечетвертичный аллювиальный горизонт приурочен к среднезернистым пескам 2-й надпойменной террасы. Обводненная мощность песков незначительна – 0,2–0,3 м. Формирование водоносного горизонта происходит за счет повышенной инфильтрации атмосферных осадков в весенне-летний период вследствие отсутствия поверхностного стока из карьера. Относительным водоупором являются верхнеплиоценовые глины, имеющие, как отмечалось выше, локальное распространение. Коэффициент фильтрации верхнеплиоценовых глин приблизительно принимается равным или меньшим относительно величины инфильтрационного питания. По химическому составу подземные воды этого горизонта относятся к гидрокарбонатному кальциево-магниевому классу с минерализацией 1,12 мг/м³ и рН 7,55. Ряд показателей превышает требования Сан-ПиН: общая жесткость 13,22 ммоль/дм³, перманганатная окисляемость 18,62 мг/дм³. Превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) содержания железа (1,8 мг/дм³) и марганца (0,25 мг/дм³). По органолепти-

ческим показателям установлено превышение допустимых норм по цветности – 700 и запаху – 3 балла.

Водоносный верхнеплиоценовый терригенный горизонт получил повсеместное развитие на левобережье Воронежского водохранилища. Он является основным водоносным горизонтом, используемым для водоснабжения г. Воронежа и многих населенных пунктов, расположенных в его окрестностях. Водоносный горизонт безнапорный. Водовмещающими породами являются мелко-среднезернистые светло-серого и желто-серого цвета. Водоупором водоносного горизонта являются глины нижнецигровской подсытки верхнего девона. Мощность горизонта 20–40 м. Глубина залегания подземных вод составляет 11–12 м в днище карьера и 19–20 м на его бортах. Абсолютная отметка уровня подземных вод – 95 м. Водообильность горизонта довольно высока. Коэффициент фильтрации колеблется от 30 до 50 м/сут. Движение гидродинамического потока ориентировано в сторону Воронежского водохранилища; угол потока – 0,001. По химическому составу подземные воды верхнеплиоценового терригенного

горизонта гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые с минерализацией 0,9–1,0 г/дм³ и pH 6,6. Предельно допустимые концентрации превышают следующие ингредиенты: общая жесткость – 13,2 ммоль/дм³, перманганатная окисляемость – 20,5 мг/дм³. Отмечаются довольно высокие содержания кремниевой кислоты (14,4 мг/дм³), марганца (0,29 мг/дм³), железа (0,45 мг/дм³), меди (до 0,01 мг/дм³). По органолептическим показателям есть небольшое превышение установленных норм по цветности – 250.

Воздействие полигона золошлаковых отходов на подземные воды заключается в подъеме их уровня, увеличении мощности водоносного горизонта и расхода подземного потока, формировании техногенных водоносных горизонтов, загрязнении подземных вод в результате их смешения с фильтрующимися на их поверхность сточными водами. Основным источником воздействия на подземные воды являются золошлаковые отходы ТЭЦ. Кроме того, могут оказывать негативное влияние и работающие механизмы. После завершения эксплуатации полигона возможным источником загрязнения может являться инфильтрация атмосферных осадков через золошлаковые накопления. В результате инфильтрации атмосферных осадков и поливочных вод через толщу золошлаков полигона возможен подъем уровня грунтовых вод.

Величина инфильтрации питания определена воднобалансовыми расчетами.

Среднегодовые осадки за многолетний период по метеостанции «Воронеж» составляют $X_{\text{год}} = 657$ мм, испарение среднегодовое по карте «Ресурсов...» составляет $E_{\text{год}} = 520$ мм на питание подземных вод и поверхностный сток уходит $657 - 520 = 137$ мм. Учитывая, что поверхностного стока из карьера не будет, на инфильтрацию уйдет 137 мм (0,000375 м/сут) осадков (21 % от 657). Дополнительно на инфильтрацию уйдет часть поливочных вод.

Объем поливочных вод составляет в среднем 37 м³/сут в течение 150 рабочих дней или 110 мм в год в пересчете на площадь 5 га. Доля дополнительной инфильтрации поливочных вод принимается по аналогии с осадками 21 %, что составляет 23 мм.

Таким образом, общее инфильтрационное питание составит 150 мм (0,00041 м/сут).

Прогноз изменения уровня грунтовых вод выполнен для двух вариантов: без противофильтрационного экрана и с противофильтрационным экраном.

Величина инфильтрационного питания для варианта глинистого экрана составляет 0,000041 м/сут.

Расчетная геофильтрационная схема – ограниченный однородный пласт с границей постоянного расхода, стекающего по контуру слабопроницаемой линзы.

Дополнительная инфильтрация вод, поступающая через экран, рассматривается как постоянная среднесуточная величина, непрерывная во времени.

Из выполненных расчетов следует, что в случае строительства без глинистого экрана происходит образование верховодки максимальной мощностью при $t \rightarrow \infty$ 1,24 м.

В случае строительства глинистого экрана величина инфильтрации w уменьшится в 10 раз и будет меньше коэффициента слабопроницаемого слоя k_0 , и образование верховодки в этом случае происходить не будет.

Прогноз подъема уровня грунтовых вод водоносного верхнеплиоценового терригенного горизонта (N_2^3 кг) показал, что даже при отсутствии глинистого экрана среднее значение величины подъема уровня грунтовых вод (УГВ) будет менее 0,01 м. Таким образом, по расчету за 6 лет на площади полигона подъема УГВ не произойдет и гидродинамические условия не изменятся.

Прогноз загрязнения подземных вод на полигоне не включает оценку времени достижения инфильтрующимися водами (с поверхности дна карьера) уровня подземных вод; оценку расхода инфильтрационных вод, фильтрующихся через зону аэрации; оценку дальности распространения загрязненных вод по водоносному горизонту.

При отсутствии глинистого экрана по расчету время достижения инфильтрационными водами уровня подземных вод составляет 256 суток. При инфильтрации, равной 0,00041 м/сут. и площади 5 га, фильтрационный расход на шестой год составит $0,00041 \text{ м/сут.} \times 50\,000 = 20,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$ При длине карьера 280 м единичный расход составит $20,5 \text{ м}^3/\text{сут.}/280 = 0,073 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Единичный расход верхнеплиоценового водоносного горизонта в естественных условиях при $k_m = 2000 \text{ м}^2/\text{сут.}$ и уклоне подземных вод $I = 0,001$ составляет $2 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Таким образом, расход инфильтрационных вод с полигона золошлаков в 27,4 раза меньше естественного расхода подземного потока. В этом же соотношении происходило бы разбавление инфильтрата в случае отсутствия экрана под полигоном.

При наличии глинистого экрана по расчету время достижения инфильтрационными водами уровня подземных вод составляет 1150 суток. При инфильтрации, равной 0,000041 м/сут. и площади 5 га, фильтрационный расход на шестой год составит $0,000041 \text{ м/сут.} \times 50\,000 = 2,05 \text{ м}^3/\text{сут.}$ При длине карьера 280 м единичный расход составит $2,05 \text{ м}^3/\text{сут.}/280 = 0,0073 \text{ м}^3/\text{сут.}$, что составляет лишь 0,73% от единичного расхода верхнеплиоценового водоносного горизонта в естественных условиях, равного $2 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Таким образом, инфильтрационные воды в подземном потоке шириной 280 м разбавятся в 274 м.

Оценка дальности распространения загрязненных вод по водоносному горизонту после их попадания в водоносный пласт определяется по действительной скорости фильтрации V_d загрязненных вод вниз по потоку, которая по расчету составляет 0,125 м/сут. За 6 лет перемещение соответственно составит 274 м.

Для оценки возможности загрязнения водозаборов подземных вод, расположенных ниже полигона по потоку, произведен расчет времени продвигания фронта загрязненных вод к этим водозаборам.

Такими водозаборами являются скважины на воду в поселке Масловка на расстоянии 1000 м. В зону влияния ближайшего водозабора ВПС-9 города Воро-

нежа проектируемый полигон не попадает. Продолжительность продвижения загрязненных вод до водозаборов села Масловка составляет 22 года. Увеличение уклона подземного потока не происходит.

Время продвижения загрязненных вод полигона до Воронежского водохранилища на расстояние 2000 м по расчету равно 44 года.

Расчет вертикального конвективного переноса загрязнений в подземном потоке показал, что на выходе подземного потока из зоны инфильтрации сточных вод траектория движения мигранта может опуститься на 1,2 м.

По результатам анализов водной вытяжки из золошлаков и оборотных вод, транспортирующих золошлаки, видно, что ни по одному из ингредиентов инфильтрата, проходящего через золошлаки, не будет превышения ПДК.

Это значит, что после разбавления инфильтрата в подземных водах в 300 раз изменение химического состава практически не произойдет.

Расчет рассеивания загрязняющих веществ в 2-километровом радиусе полигона осуществлен на основании величин фоновых концентраций основных загрязняющих компонентов [23]. Установлены концентрации неорганической пыли с содержанием SiO_2 в пределах 20–70 %, равное $0,32 \text{ мг/дм}^3$, что несколько превышает допустимый уровень. Несколько ниже ПДК определяются содержания диоксида азота ($0,07 \text{ мг/дм}^3$), оксида углерода ($2,5 \text{ мг/дм}^3$) и оксида азота ($0,014 \text{ мг/дм}^3$). Концентрация диоксида серы незначительна ($0,043 \text{ мг/дм}^3$). Загрязнение приземного слоя атмосферы углеводородами находится на уровне $0,24 \text{ мг/дм}^3$, что составляет 0,2 ПДК.

Таким образом, можно сделать вывод, что воздействие полигона золошлаковых отходов на подземные воды и приземной слой атмосферы крайне незначительно. Несмотря на это на полигоне необходимо предусмотреть мероприятия по мониторингу окружающей среды, в том числе подземных вод и атмосферного воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаев, А.Я. Геоэкологические аспекты захоронения промтоходов в глубокие горизонты земной коры / А.Я. Гаев // Проблемы захоронения промтоходов в глубокие горизонты земных недр : материалы 2-ой республ. научн.-практ. конф. – Саратов : Научная книга, 2001. – С. 15–17.
2. Крамарев, П.Н. Некоторые геоэкологические и гидрогеологические аспекты захоронения отходов теплоэлектростанций / П.Н. Крамарев // Труды молодых ученых Воронеж. ун-та. – 2002. – Вып. 2. – С. 102–107.
3. Лапочкин, Б.К. К вопросу организации геологического мониторинга на территории захоронения промтоходов в глубокие горизонты подземных недр / Б.К. Лапочкин // Проблемы захоронения промтоходов в глубокие горизонты земных недр : материалы 2-ой республ. научно-практ. конф. – Саратов : Научная книга, 2001. – С. 52–54.
4. Акобидзе, Л.Б. Особенности формирования фильтра на полигоне твердых бытовых отходов г. Воронежа и специфика его воздействия на подземные воды / Л.Б. Акобидзе // Труды молодых ученых Воронеж. гос. ун-та. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2004. – Вып. 1. – С. 136–142.
5. Батищев, В.В. Полигон твердых бытовых отходов г. Воронежа и состояние подземных вод / В.В. Батищев, В.И. Кияшкин, С.А. Довгань // Экология и промышленность России. – 2000. – № 8. – С. 40–44.
6. Бочаров, В.Л. Состояние подземных вод в районе полигона твердых бытовых отходов г. Воронежа / В.Л. Бочаров, Л.Н. Строгонова // Геологические, геофизические и геохимические исследования юго-востока Русской платформы : материалы межведомств. науч. конф. – Саратов : Изд-во СО ЕАГО, 2001. – С. 90–91.
7. Довгань, С.А. Экологическая безопасность полигонного депонирования твердых бытовых отходов. / С.А. Довгань // Автореф. канд. дис. – Воронеж, 2000. – 21 с.
8. Доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых, водных и лесных ресурсов, состоянии и охране окружающей среды Воронежской области в 2003 году / В.С. Маликов, Л.И. Дубовская, Т.Д. Павлушева, А.Н. Плаксенко и др. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2004. – 192 с.
9. Крамарев, П.Н. Геоэкологические проблемы классификации радиоактивных отходов в связи с возможностью их захоронения / П.Н. Крамарев // Труды молодых ученых Воронеж. ун-та. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2002. – Вып. 1. – С. 122–123.
10. Лаверов, Н.П. Геохимические аспекты захоронения радиоактивных отходов / Н.П. Лаверов, Б.И. Омеляненко, В.И. Величкин // Геоэкология. – 1994. – № 6. – С. 3–21.
11. Тагилов, М.А. Противофильтрационная защита оснований полигонов захоронения твердых бытовых отходов / М.А. Тагилов // Автореф. канд. дис. – Пермь, 2002. – 18 с.
12. Давыдова, Н.Д. Выбросы теплоэлектростанции КАТЭКа и воздействие их на ландшафты / Н.Д. Давыдова, В.Г. Волкова // Геохимия техногенных процессов. – М. : Недра, 1990. – С. 83–94.
13. СанПин 214559-96 «Вода питьевая». Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения – М. : Информ. изд-во Центра Госкомэпиднадзора РФ, 1996. – 111 с.
14. Крамарев, П.Н. Эколого-гидрогеохимические условия реконструкции правобережных очистных сооружений в г. Воронеже / П.Н. Крамарев // Высокие технологии в экологии : труды 7-ой Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж : Менеджер, 2004. – С. 20–22.
15. Курдов, А.Г. Воронежское водохранилище: 30 лет спустя / А.Г. Курдов, В.А. Дмитриева // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. географ. и геоэкол. – 2002. – № 1. – С. 124–127.
16. Смирнова, А.Я. Водные экосистемы промышленно-городских агломераций бассейна Верхнего Дона / А.Я. Смирнова, В.Л. Бочаров // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. Геология. – 1997. – № 3. – С. 102–105.
17. Смирнова, А.Я. Экология подземных вод бассейна Верхнего Дона / А.Я. Смирнова, А.И. Бородин. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2003. – 180 с.
18. Холмовой, Г.В. Неогеновые и четвертичные отложения Среднерусской возвышенности / Г.В. Холмовой, Б.В. Глушков. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т., 2001. – 220 с.
19. Чернышов, Н.М. Модель геодинамического развития Воронежского массива в раннем докембрии / Н.М. Чернышов, В.М. Ненахов, И.П. Лебедев, Ю.Н. Стрик // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–30.
20. Савко, А.Д. Геология Воронежской антеклизы / А.Д. Савко. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2002. – 165 с.
21. Строгонова, Л.Н. Изучение химического состава атмосферных осадков на территории г. Воронежа и загрязнение его соединениями азота / Л.Н. Строгонова // Труды молодых ученых Воронеж. гос. ун-та. – 2002. – Вып. 2. – С. 132–138.

22. Строгонова, Л.Н. К вопросу об экологическом состоянии поверхностных и атмосферных вод г. Воронежа / Л.Н. Строгонова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2001. – № 11. – С. 263–267.

23. Спиридонов, Е.Г. Контроль качества приземного слоя атмосферы и оценка его влияния на здоровье населения (на примере г. Воронежа) : автореф. канд. дис. / Е.Г. Спиридонов. – М. : Гос. ун-т по землеустр., 2000. – 24 с.

УДК 574.633:504.064.36(470.3)

БИОИНДИКАЦИЯ В ГЕОЭКОЛОГИИ: ОБ ЭВТРОФИРОВАНИИ МЕЖЛЕДНИКОВЫХ, ГОЛОЦЕНОВЫХ И СОВРЕМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БАССЕЙНА ВЕРХНЕГО ДОНА

Г.А. Анциферова

Воронежский государственный университет

На основе исследования видового и количественного состава фитопланктона водных экосистем бассейна Верхнего Дона проведено сопоставление процессов эвтрофирования поверхностных вод региона в условиях межледниковий, голоцена и в современную эпоху. В межледниковое время и в голоцене эвтрофирование отражало природную эволюцию слабо проточных и непроточных водоемов, а также процессы, происходившие на водосборах. Эвтрофирование современных водных экосистем является следствием их антропогенного загрязнения.

Целью работы является сопоставление процессов эвтрофирования поверхностных вод бассейна Верхнего Дона в условиях межледниковий, голоцена и в современную эпоху.

В межледниковое время и в голоцене эвтрофирование отражало природную эволюцию слабо проточных и непроточных водоемов, а также процессы, происходившие на водосборах. В бассейне Верхнего Дона на территории краевой зоны распространения донского оледенения, существовавшего около 500 тысяч лет тому назад, во время последовавшего затем мучкапского межледниковья закладывались и развивались озера. В основном это были глубокие (до 30–60 м) и среднеглубокие (до 15–25 м) водоемы, с котловинами экзарационно-аккумулятивного происхождения. На основе данных диатомового анализа древнеозерных осадков прослежена последовательная смена крупных этапов трофности озер, некоторые из которых существовали в течение всего межледниковья. Озеро с олиготрофным режимом, с низким уровнем продуктивности становилось мезотрофным и затем эвтрофным со средним и высоким уровнями трофности. В этап, завершающий существование водоема, возможно также развитие процессов его дистрофирования, что прослежено на примере ряда озер. Основной особенностью экосистем с замедленным водообменом является накопление в их котловинах автохтонного и аллохтонного органического и минерального вещества. Это приводило к зарастанию и заболачиванию водоема.

В последующие лихвинскую, микулинскую межледниковые эпохи и в голоцене регион располагался вне границ предшествующих им окского и московского (днепровского) оледенений. Для подобных

территорий характерны озера, которые развиваются в унаследованных понижениях рельефа, но в основном они имеют старичное происхождение. Трофность таких водоемов имеет изначально более высокие показатели, по сравнению с озерами ледникового происхождения, в данном случае с мучкапскими. Это были неглубокие водоемы (первые метры, максимальные глубины до 5–10 м), мезотрофные с признаками эвтрофирования или эвтрофные. Время существования подобных озер ограничивалось размерами озерной котловины и скоростью ее заполнения осадками. В бассейне Верхнего Дона изучены озерные мергели микулинского возраста (130 тысяч л.т.н.), мощностью до 1 м, вскрытые в пойме Дона у хутора Ямань, и озерные отложения голоцена в разрезах Гаврило-86 (радиоуглеродная датировка 8270–8370 л.т.н.), мощностью около 3 м, и Шкурлат-ГК-6 (радиоуглеродная датировка около 4500 л.т.н.), мощностью 0,9 м. Трофность данных озер определена на основе материалов, полученных в результате изучения сообществ диатомовых водорослей. Учитывая видовой состав и оценки обилия отдельных форм, в том числе доминирующих, а также совокупность экологических характеристик: соотношения групп диатомей по местообитанию и географическому распространению, по отношению к степени минерализации вод, активной реакции среды (рН) были восстановлены глубины, минерализация, рН и трофность. Характерные для эвтрофных межледниковых и голоценовых водоемов виды диатомовых водорослей приведены в табл. 1.

Эвтрофирование природных водных экосистем (межледниковых, голоценовых) является следствием их эволюции и определяется процессами образования и деструкции органического вещества. Водная эко-