

ОЦЕНКА УРОВЕННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД И ТЕПЛООВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОД ДОНА В РАЙОНЕ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АЭС ПО СООБЩЕСТВАМ НИЗШИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Г. А. Анциферова, А. Я. Смирнова, Л. Н. Строгонова

Воронежский государственный университет

Рассматривается влияние Нововоронежской атомной электростанции на подземные и поверхностные воды. Приводятся результаты оценки теплового загрязнения р. Дон в результате выпуска охлаждающих вод по сообществам низших водорослей, особенности формирования уровня режима грунтовых вод под влиянием природных и антропогенных факторов. Для оценки температурного загрязнения реки Дон при охлаждении реактора Нововоронежской атомной станции использован метод биологической индикации с использованием сообществ низших водорослей. В работе изучены эколого-биологические свойства вод и эффективность процессов саморегуляции и системы охлаждения. Выявлена основная тенденция загрязнения Дона. Предложены рекомендации по охране окружающей среды.

В современном энергетическом балансе России большая роль принадлежит ядерной энергетике. В Центральном Черноземье уже более 25 лет действует Воронежская и Курская АЭС (атомная электростанция).

При эксплуатации АЭС образуются твердые и жидкие радиоактивные отходы разной степени активности, которые при определенных условиях вступают во взаимодействие с окружающей природной средой. Устойчивость природной среды определяется уровнем инженерно-хозяйственной деятельности населения, которая в настоящее время уже привела к изменению более половины земной поверхности.

Особое место среди показателей экологического неблагополучия занимают водные системы зоны активного водообмена гидrolитосферы, испытывающие прессинг крупномасштабного антропогенного воздействия.

Изучаемая площадь Нововоронежской атомной электростанции (НВАЭС) расположена на северо-востоке Воронежской области, примерно в 50 км к югу от г. Воронежа, на левом берегу реки Дон, на первой и второй надпойменных террасах и западном склоне водораздела рек Дон — Хворостань. Водораздельная линия проходит по абсолютным отметкам рельефа поверхности 140—150 м.

Вторая надпойменная терраса прослеживается в виде полосы шириной 0,25—1,5 км. Абсолютная отметка ее поверхности составляет 105—118 м, а высота над урезом реки — 25—35 м.

© Анциферова Г. А., Смирнова А. Я., Строгонова Л. Н., 2006

Поверхность ровная полого наклоненная к долине реки Дон.

Первая надпойменная терраса развита фрагментарно в северной и центральной частях промплощадки. Ширина ее 0,15—1,0 км, абсолютная отметка 95—105 м, а высота над урезом реки 8—18 м. Поверхность террасы ровная, почти горизонтальная, слабонаклоненная к реке. Ее переход к пойме реки постепенный. В процессе строительства сооружений и хозяйственных коммуникаций станции поверхность первой террасы была спланирована.

Пойма реки Дон у промплощадки по ширине колеблется от 0,6—0,7 до 1,2—2,5 км. Изобилует староречьями, заполняющимися водой в весенний паводковый период. Ширина реки достигает 100—160 м, а глубина 5—6 м. Средний уклон реки 0,00006 м/км. Абсолютная отметка уреза воды в реке изменяется от 82 до 82,5 м [6].

Основные объекты НВАЭС расположены на различных уровнях: пруд-охладитель на пойме, 1—4 энергоблоки и градирни на первой террасе, а 5 энергоблок — на второй.

В гидрогеологическом разрезе промплощадки прослеживаются два структурно-гидрогеологических этажа: верхний и нижний.

Подземные воды нижнего этажа приурочены к терригенно-карбонатным отложениям нижнемелового и девонского возраста и к коре выветривания кристаллических пород докембрийского фундамента. Их отличает напорный характер, гидравлическая связь между водоносными горизонтами в местах отсутствия разделяющих водоупоров, а иногда с водоносными

горизонтами верхнего структурно - гидрогеологического этажа. Воды характеризуются порово-пластовым, трещино-пластовым, карстово-трещинным типом циркуляции.

Подземные воды верхнего этажа заключены в песчаных породах современного, четвертичного и плиоценового возраста. Их отличает безнапорный характер и поровый тип циркуляции. В нем скважинами вскрываются 2 водоносных слоя. Первый водоносный слой отмечен в зоне аэрации на глубине 10,35—10,5 м. Распространен он ограниченно и наблюдается только в юго-восточной части площадки 5 энергоблока. Воды приурочены к песчано-глинистым породам и удерживаются на водоупорных одновозрастных суглинках. Второй водоносный слой распространен глубже, иногда на уровне 55 м. Вода заключена в современных верхнечетвертичных и плиоценовых песчаных отложениях. Все водосодержащие породы контактируют между собой и объединяются в плиоцен-четвертичный водоносный комплекс.

В пойменной части реки Дон воды указанного водоносного комплекса распространены в разнородных песках, коэффициент фильтрации которых составляет 19—25 м/с. Мощность водоносного слоя (aQ_{IV}) здесь колеблется от 3,4 до 10,8 м, а глубина УГВ 0,5—3,0 м.

На первой и второй террасах (aQ_{III}) подземные воды циркулируют в аллювиальных песчаных породах. В связи с тем, что слабопроницаемые отложения местами размыты, воды гидравлически связаны с нижележащим верхнещигровским водоносным горизонтом. Мощность водоносного горизонта составляет 3—10 м, а глубина УГВ изменяется от 2 до 10 м с абсолютными отметками естественного уровня 85—91 м.

Верхнеплиоценовый водоносный горизонт (aN_2^3kr), входящий в состав водоносного комплекса, широко распространен в восточной части промплощадки. Водовмещающие породы представлены разнородными песками. Мощность водоносного горизонта изменяется от нескольких метров под второй террасой до 8 м на участках основных сооружений. В кровле горизонта местами распространены опесчаненные глины мощностью до 4 м.

На большей части промплощадки этот водоносный горизонт залегает на верхнещигровском водоносном горизонте, составляя с ним единый водоносный комплекс. В центральной части

промплощадки, однако, их разделяют барремские глины нижнего мела мощностью до 10 м. Водовмещающие породы отличаются высокими фильтрационными свойствами, коэффициент фильтрации 30 м/с. Глубина залегания УГВ изменяется от 9 до 20 м. Абсолютные отметки УГВ понижаются с северо-востока на юго-запад от 93 до 85 м. Максимальный уклон потока 0,0022, минимальный 0,0015.

Питание плиоцен-четвертичного водоносного комплекса осуществляется инфильтрацией атмосферных осадков, боковой приточностью подземного стока с левобережного водораздела, фильтрацией вод из пруда-охладителя и сбросного канала.

Разгрузка вод происходит в долину реки Дон и в дренажные колодцы промплощадки. Грунтовые воды отличаются температурой 10—14 °С, которая возрастает до 19 °С к участку 3—4 энергоблоков. По химическому составу воды гидрокарбонатного кальциевого и смешанного типов с минерализацией 0,1—0,4 г/дм³. Подземные воды водоносного комплекса используются для водоснабжения города Нововоронежа. Глубина залегания уровня грунтовых вод в целом по площадке с основными сооружениями изменяется от 3 до 17 м. Она увеличивается до 55 м на левобережном водоразделе.

Влияние многофакторного процесса на геофильтрацию грунтовых вод определяет гидродинамическую структуру потоков. На карте гидроизогипс исследуемого района выделяется основной поток, направленный на юго-запад к долине Дона от абсолютных отметок УГВ 96 м до 83 м. Течение воды формируется под влиянием расхода естественного подземного стока, поступающего с левобережного водораздела, и инфильтрации атмосферных осадков. Однако, нарушения естественных гидрогеологических условий промышленными коммуникациями, дренажными сооружениями искажают естественный поток грунтовых вод. Возникшая фильтрация воды из пруда-охладителя, откачка вод из перехватывающего дренажного колодца оказывает деформирующее влияние на гидродинамическую структуру потока. По периферии пруда — охладителя наблюдается с одной стороны сгущение гидроизогипс от абсолютных отметок 92,6 до 91,0, указывающее на формирование расходящегося грунтового потока с ведущим направлением к югу, а с другой стороны действие перехватывающего дренажного колодца, распо-

ложенного под пятым энергоблоком, определило формирование сходящегося грунтового потока в депрессионную воронку с радиусом влияния около 100 м. В юго-восточной части промплощадки на участке хранилища жидких слабоактивных отходов сформировался купол растекания стоков от абсолютной отметки 88,5 до 88,0 м с площадью 120 тыс.м².

Формирование уровня режима грунтовых вод зависит не только от геофильтрационных процессов, протекающих в системе водопорода, но и в значительной степени от процессов, совершающихся на водосборной поверхности. При этом роль природных факторов весьма часто перекрывается антропогенным (техногенным) влиянием.

Анализ многолетних колебаний уровней вод показывает, что амплитуда в целом по промплощадке изменяется от 0,3 до 1,2 м, а годовые колебания составляют 0,01—0,96 м. Широкий диапазон изменений колебаний УГВ указывает на различную генетическую природу формирования уровня режима. В связи с этим, были выявлены особенности колебаний УГВ на участках площадки с естественными природными условиями и с усиленной техногенной нагрузкой. В первом случае участки с ненарушенным естественным режимом расположены у восточной периферии второй террасы и западного склона левобережного водораздела. Источники питания грунтовых вод определяются здесь инфильтрацией атмосферных осадков и притоком подземного стока с водораздела. В межлетний период года в условиях стабилизации расхода подземного стока в сентябре УГВ располагается на глубине от 11,41—11,54 до 10,60—11,07 м с абсолютной отметкой от 88,26—89,14 до 87,8 м. В весенний период года по мере поступления талых снеговых вод УГВ в мае поднимается до глубины 13 м. Годовая амплитуда колебания УГВ составляет 0,3—0,2 м [4].

Аналогичная картина наблюдается и в многолетнем разрезе времени. Максимальный уровень отмечается в мае, а минимальный в сентябре, то есть уровень режим характеризуется одним весенним пиком.

Выявление причинной связи колебаний УГВ показало, что она определяется метеоусловиями в районе АЭС. Наивысшие уровни грунтовых вод, являющиеся годовыми максимумами, отмечаются на второй террасе и вблизи левобережного водораздела с запаздыванием на 1—

1,5 месяца от максимального речного. Пики максимумов в многолетнем периоде приходятся на конец мая — начало июня. В это время УГВ на первой террасе поднимается на 0,9—1,2 м от среднегодового и на 0,3 м у талового шва второй террасы с левобережным водоразделом.

На участках интенсивной техногенной нагрузки (сооружения энергоблоков, водонесущие коммуникации, сбросные каналы, градирни и др.) процесс формирования уровня режима носит индивидуальный характер. Наблюдается отсутствие взаимосвязи с метеоусловиями промплощадки станции. Хронологическими графиками многолетнего уровня режима отмечаются эпизодические, весьма небольшие всплески уровня грунтовых вод с максимальной амплитудой в 0,3—0,9 м. Пики максимумов уровня могут проявляться зимой, а стабилизация уровня — весной. Такая схема формирования уровня режима объясняется его регулированием с одной стороны дренажными колодцами, разливом воды от градирен, а с другой — фильтрацией воды из пруда-охладителя с постоянным расходом [5].

На основе рассмотренных особенностей уровня режима грунтовых вод промплощадки НВАЭС и выявления его генетических связей выделено три активные зоны режима:

— первая зона с глубиной залегания УГВ до 5 м располагается на пойме реки Дон. Источники формирования режима определяются атмосферным питанием грунтовых вод, паводковыми водами реки и подземным притоком вод со стороны водораздела. Эта зона в настоящее время недостаточно изучена;

— вторая зона располагается на участке основных сооружений станции и отличается высокой техногенной нагрузкой. Глубина залегания УГВ составляет 5—14 м. Режим грунтовых вод зарегулирован и тесно взаимосвязан с работой водонесущих коммуникаций, откачкой воды из дренажных колодцев и постоянной фильтрацией воды из пруда-охладителя. Максимум подъема УГВ в этой зоне не связан с метеоусловиями станции. Среднегодовой подъем в целом по площадке не превышает 0,3 м. В основном это зона нарушенного, техногенного режима УГВ. В этой же зоне располагается хранилище жидких слабоактивных отходов, окруженное множеством наблюдательных скважин. По многолетним данным амплитуда колебаний УГВ находилась в пределах 0,18—0,39 м. С конца

1994 г. отмечается медленный спад уровней воды в скважинах, что возможно свидетельствует о медленной локализации купола растекания жидких слабоактивных отходов;

— третья зона распространена по восточной периферии второй террасы и склоновой части левобережного водораздела. Глубина залегания УГВ составляет более 14 м. Источником формирования уровня режима являются атмосферные осадки и приток воды с водораздельной площади. В этой зоне осуществляется естественный процесс формирования уровня режима грунтовых вод, тесно связанный с метеорологическими факторами [7].

На исследуемой территории проводилась оценка теплового загрязнения вследствие влияния выпуска охлаждающих вод 1 и 2 блоков НВАЭС на эколого-биологическое качество вод р. Дон. Метод биологической индикации на основе анализа сообществ низших водорослей (диатомовые, синезеленые и зеленые) использован для установления эффективности процессов саморегуляции водной экосистемы Дон — водоем охладитель, выявления общей тенденции антропогенного (техногенного) загрязнения Дона и обоснования природоохранных рекомендаций [9].

Для восстановления наиболее полного видового состава сообществ низших водорослей отбирались пробы фитопланктона, перифитона и микрофитобентоса. На р. Дон было выбрано пять поперечных створов — у с. Малышево, в районе г. Нововоронежа: выше выпуска охлаждающих вод, непосредственно в зоне их смешивания при впадении вод старицы в Дон, в 500 м ниже впадения старицы и затем у с. Сторожевое. По створам опробовались рипаль, т.е. мелководья у правого и левого берегов (фитопланктон, обрастания и донные) и медиаль (фитопланктон). Аналогичные местообитания опробовались в водоеме охладителя и в старице Дона. Работы проводились в середине июля. В сообществах низших водорослей р. Дон, водоема охладителя и старицы изучен таксономический состав низших водорослей. Диатомовые водоросли насчитывают 73 вида и внутривидовых таксона, которые принадлежат 27 родам, синезеленые — 26 таксонов, принадлежащих 12 родам и зеленые водоросли — 14 таксонов, представленных 6 родами, относящимися к различным отделам.

Для современных сообществ низших водорослей в целом характерно невысокое видовое

разнообразие и смешанная структура по местообитанию. В пробах фитопланктона, который по определению объединяет сообщество, обитающее в толще воды, в меньшей степени наблюдаются виды собственно планктонные. Часто проба, отобранная в медиали, содержит меньшее количество планктонных видов, нежели проба, отобранная на мелководьях, причем из толщи воды среди зарослей высшей водной растительности или в обрастаниях этой растительности. Обнаруженные планктонные виды, по сути, являются литорально-планктонными. В пробах фитопланктона наблюдаются таксоны, которые характерны для обрастаний и донных местообитаний. Вследствие этого, в практической работе по каждому из створов изучалась объединенная проба, которая представляет все типы местообитаний и в итоге дает возможность получить адекватную эколого-биологическую картину. Достоверность подобной оценки состояния вод апробирована нами при исследовании рек и озер региона как современных, так и голоценовых и межледниковых [1].

Доминирующее значение среди микроводорослевого населения пресноводных водоемов, в том числе и р. Дон, имеют диатомовые и синезеленые водоросли. В составе их сообществ доминируют диатомовые водоросли — от 64 до 76,6 % (число видов от 16 до 48), синезеленые насчитывают от 13,4 до 24 % (число видов от 4—6 до 13), зеленые — от 6,2 до 13,6 % (число видов от 3 до 5). Средняя численность составляет от 224,2 до 360,3 тыс./л, средняя биомасса — от 0,08353 до 1,865768 мг/л.

Состав сообществ низших водорослей водоема охладителя зависит от температуры воды. По мере ее снижения от 37 °С (до дамбы) и до 28 °С (после дамбы и в старице) общее число видов низших водорослей увеличивается от 8 до 31. В водоеме охладителе при температуре воды 37 °С доминируют синезеленые водоросли — 87,5 % (7 видов), диатомовые представлены одним видом, при температуре воды 29—31 °С доминируют синезеленые водоросли — от 52 до 61 % (7—13 видов), зеленые составляют от 12 до 28 % (3—5 видов), диатомовые — 11—37,5 % (2—8 видов). В старице при температуре воды 28 °С диатомовые составляют 64,5 % (20 видов), зеленые — 22,6 % (7 видов) и синезеленые 12,9 % (4 вида). Средняя численность составляет от 59,3 до 188,1 тыс./л, средняя биомасса — от 0,006832 до 0,23045 мг/л.

Краткое описание доминирующего видового состава микрофитоценозов по данным сборов, проведенных 10—15 июля 2003 г., следующее:

1. р. Дон, Малышево, выше НВАЭС $t_{\text{воды}}$ 22 °С — 23 вида и внутривидовых таксона диатомей, среди них с оценками часто, нередко наблюдаются *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. et var. *tenuissima* (Grun.) Sim., *A. granulata* (Ehr.) Sim., *Cyclotella atomus* Hust., *Meridion circulare* Ag., *Cocconeis placentula* Ehr., *Cymbella cistula* (Hemp.) Grun., *Amphora ovalis* var. *pediculus* Kütz. и др., среди синезеленых (4 таксона) — *Microcystis pulverea* (Wood.) Fonti emend. Elenk. et f. *planctonica* (G. M. Smith) Elenk., зеленые водоросли (3 таксона) — нередко *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. единично *Glenedinium penardii* Lemm., *G. berlinensis* Lemm.

2. р. Дон, выше НВАЭС в районе г. Нововоронежа (правый берег высокий, вдоль левого берега, песчаный пляж), $t_{\text{воды}}$ 22 °С — 48 видов и внутривидовых таксонов диатомей, среди них с оценками часто, нередко наблюдаются *Cymatopleura solea* (Bréb.) W. Sm., *Amphora ovalis* Kütz. et *A. ovalis* var. *pediculus* Kütz., *Cocconeis pediculus* Ehr., *Gyrosigma attenuatum* (Kütz.) Rabenh., *Navicula atomus* Ralfs., *N. Cryptocephala* Kütz., *N. hungarica* var. *capitata* Cl., *N. gracilis* Ehr., *N. placentula* f. *rostrata* A. Mayer. и др., среди синезеленых (13 таксонов) в фитопланктоне в массе *Microcystis pulverea* (Wood.) Fonti emend. Elenk. et f. *planctonica* (G. M. Smith) Elenk., на заиленном топком мелководье — в массе распространены *Ostillatoria limnetica* Lemm., *Phormidium ambiguum* Gom. и др. Среди зеленых водорослей (4 таксона) — нередко-часто *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb., *Sc. obliquus* (Turp.) Kütz., единично *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh., *Glenedinium penardii* Lemm.

3. р. Дон, напротив НВАЭС, в месте впадения старицы, в зоне смешивания вод, $t_{\text{воды}}$ левый берег 28 °С, правый берег 21,5 °С. Сборы на правом берегу и в медиали показали, что диатомовые представлены 3—5 таксонами, доминируют *Cocconeis placentula* Ehr., *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehr. У левого берега диатомовые представлены 16 видами и внутривидовыми таксонами, среди них наблюдаются *Cyclotella atomus* Hust., *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. et var. *tenuissima* (Grun.) Sim., *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehr.) Grun., *Cymbella cistula* (Hemp.) Grun., *Cymatopleura elliptica* (Bréb.)

W. Sm., *Meridion circulare* Ag. и др., среди синезеленых (6 таксонов) повсеместно в фитопланктоне в массе *Microcystis pulverea* (Wood.) Fonti emend. Elenk. et f. *planctonica* (G. M. Smith) Elenk., на левобережье — *Ostillatoria deflexoides* Elenk. Et Kossinsk., *Phormidium bohneri* Schmidle. Среди зеленых (3 таксона) нередко *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb., единично *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh., *P. tetras* Ralfs.

4. р. Дон, 500 м ниже НВАЭС, $t_{\text{воды}}$ 22—21,5 °С — диатомей насчитывают 29 видов и внутривидовых таксонов, с оценками часто-нередко, в массе наблюдаются *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. et var. *tenuissima* (Grun.) Sim., *Cyclotella atomus* Hust., *Synedra acus* Kütz. et var. *angustissima* Grun., *S. ulna* (Nitzsch.) Ehr., *Navicula atomus* (Naeg.) Grun., *Fragilaria intermedia* Grun. и др., среди синезеленых (8 таксонов) в фитопланктоне в массе-нередко *Microcystis pulverea* (Wood.) Fonti emend. Elenk., *Ostillatoria planctonica* Wolosz., *Dactylococcopsis acicularis* Lemm. и др. Зеленые водоросли (3 таксона) имеют оценки редко-нередко. Это *Scenedesmus arcuatus* Lemm., *Sc. obliquus* (Turp.) Kütz. и *Pediastrum tetras* Ralfs.

5. р. Дон, Сторожевое $t_{\text{воды}}$ 19,5 °С — среди диатомей обнаружено 26 видов и внутривидовых таксонов, с оценками часто-нередко наблюдаются *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim., *Synedra capitata* Ehr., *Fragilaria construens* var. *venter* (Ehr.) Grun., *Cocconeis placentula* Ehr., *C. pediculus* Ehr., *Navicula atomus* (Naeg.) Grun., *N. gracilis* Ehr., *Gomphonema acuminatum* var. *coronatum* (Ehr.) W. Sm. и др., среди синезеленых (6 таксонов) в фитопланктоне в массе-нередко *Microcystis pulverea* (Wood.) Fonti emend. Elenk. et f. *planctonica* (G. M. Smith) Elenk., *Ostillatoria planctonica* Wolosz., *Dactylococcopsis acicularis* Lemm., на илистом дне редко-нередко *Phormidium frigidum* F.E. Fritsch., *Ph. Foveolarum* (Mont.) Gom., *Ostillatoria limnetica* Lemm. и др. Среди зеленых (5 таксонов), редко-нередко наблюдаются *Scenedesmus arcuatus* Lemm., *Sc. denticolatus* Lagerh., *Sc. obliquus* (Turp.) Kütz. и *Pediastrum tetras* Ralfs.

В водоеме охладителя обнаружены сообщества синезеленых, зеленых и диатомовых водорослей. В зависимости от температуры воды наблюдается следующий состав сообществ:

1. Водоем охладитель, до дамбы ($t_{\text{воды}}$ 37 °С) — в массе диатомовая водоросль *Nitzschia acicularis* W. Sm., выдерживающая чрезвычайно высокий уровень загрязнения, синезеленые водоросли (7 таксонов) — в массе *Phormidium ambiguum*

Lemm., а также единично *Dactylococcopsis raphidioides* Hansg. с разновидностями, *Pseudoholopedia convoluta* (Bréb.) Elenk., *Borzia trilocularis* Cohn. — обитатели стоячих вод.

2. Водоем охладитель, после дамбы ($t_{\text{воды}} 31\text{ }^{\circ}\text{C}$) — в массе диатомовая водоросль *Nitzschia acicularis* W. Sm., часто *Aulacoseira italica* var. *tenuissima* (Grun.) Sim., среди синезеленых водорослей (11 таксонов) в массе-нередко *Merismopedia punctata* Meyer, *M. tenuissima* Lemm., *M. glauca* (Ehr.) Naeg., очень часто *Dactylococcopsis acicularis* Lemm., *D. raphidioides* f. *pannonica* (Hortobagyi) Hollerb., *Ostillatoria planctonica* Wolosz., а также *Gloeocapsa turgida* (Kütz.) Hollerb., *G. magna* (Bréb.) Kütz.. Среди зеленых (5 таксонов) очень часто *Pleurococcus vulgaris* Pasch., часто-нередко *Scenedesmus arcuatus* Lemm., *Sc. denticulatus* Lagerh., *Crucigenia rectangularis* (A. Br.) Gay, *Chroomonas pulex* Pasch. и др.

3. Водоем охладитель (пляж) ($t_{\text{воды}} 29\text{ }^{\circ}\text{C}$) — в целом состав сообществ диатомовых (9 таксонов) и синезеленых (13 таксонов) водорослей аналогичен вышеописанному, в массе наблюдается диатомея *Nitzschia acicularis* W. Sm., часто-нередко *Navicula cryptocephala* Kütz., *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim. et var. *tenuissima* (Grun.) Sim., *Cymbella cistula* (Hemp.) Grun., среди синезеленых характерно разнообразие форм и разновидностей рода *Dactylococcopsis*: *D. acicularis* Lemm. — в массе, в массе-нередко *Merismopedia tenuissima* Lemm., *M. punctata* Meyer, *M. glauca* (Ehr.) Naeg., *Pseudoholopedia convoluta* (Bréb.) Elenk., *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom., *Ostillatoria limnetica* Lemm. и др. Зеленые водоросли представлены 3 таксонами — очень часто *Pleurococcus vulgaris* Pasch., часто-нередко *Crucigenia fenestrata* Schmidle и *Cr. rectangularis* (A. Br.) Gay.

4. Старица ($t_{\text{воды}} 28\text{ }^{\circ}\text{C}$). Изучены разнообразные в видовом отношении сообщества диатомовых (20 таксонов), синезеленых (4 таксона) и зеленых водорослей (7 таксонов). Среди диатомовых часто *Cyclotella atomus* Hust., *Aulacoseira islandica* ssp. *helvetica* (O. Müll.) Sim., *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Ag., *Navicula atomus* (Naeg.) Grun., *Amphora ovalis* Kütz. и др. Синезеленые представлены *Microcystis pulvereae* (Wood.) Fonti emend. Elenk. в массе, нередко — *Ostillatoria limnetica* Lemm. и др. Зеленые (7 таксонов) имеют оценки редко-очень часто. Это *Gonium perforale* Lemm., *Crucigenia fenestrata* Schmidle, *Cr. rectangularis* (A. Br.) Gay, *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz. и *Sc. quadricauda* (Turp.) Bréb., *Cosmarium formulosum* Hofm.

Таким образом, в водоеме охладителе наблюдается своеобразный состав сообществ низших водорослей. Эти сообщества антропогенные. Их состав формируется по мере возникновения условий, пригодных для жизни отдельных толерантных видов низших водорослей. Их отличает широкое распространение представителей зеленых водорослей, для массового развития которых температура воды в диапазоне 31—29 °C является оптимальной (табл. 1).

Таксономический состав и количественные оценки видов, представляющих сообщества низших водорослей, послужили основой для проведения сапробиологического анализа. Это позволило получить характеристику эколого-биологического качества вод водоема охладителя и р. Дон в районе Нововоронежской АЭС.

Уровень антропогенного (техногенного) загрязнения поверхностных вод обуславливается количеством биогенных элементов, главным образом соединений азота, фосфора, железа и др., а также органических веществ, поступающих в воду, в первую очередь, с бытовыми и промышленными стоками. Прибрежная зона загрязненных водоемов зарастает высшей водной растительностью, часто заболачивается. Процесс загрязнения Дона в районе НВАЭС проявляется, в частности, в заилении его акватории, что достоверно фиксируется видовым составом сообществ низших водорослей. Структура сообществ указывает на их трансформацию из реофильных (речных) в лимнофильные (озерные). Подобное явление прослеживается также по всему Дону в пределах Воронежской области.

В практике гидробиологического анализа используется оценка степени загрязнения по показательным видам по системе Кольквитца-Марссона, многократно усовершенствованной различными исследователями [3, 11]. В результате проведенных вычислений средней сапробиности сообществ низших водорослей получена оценка биологического качества вод р. Дон, водоема охладителя и старицы Дона (табл. 2).

В соответствии с показателями индексов сапробиности эколого-биологическое качество вод р. Дон в районе НВАЭС определяется как умеренно загрязненное, воды 3 класса бета-мезосапробиные. В водоеме охладителе 1 и 2 блоков устанавливается следующее качество вод: при температуре 37 °C (до дамбы) — загрязненные воды 4 класса альфа-мезосапробиные-полисапробиные (показатель не достоверен, установлено

Таблица 1

Численность и биомасса таксономических групп по станциям наблюдения

Дата	№ станции наблюдения	Таксономическая группа	Число видов в группе	Численность, экз./л	Биомасса, мг/л
р. Дон в районе НВАЭС					
10.07.2003	1. Малышево р. Дон	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	23 4 3 30	177146 109002 3996 290144	0,06799 0,0025 0,01304 0,08353
15.07.2003	2. Нововоронеж, р. Дон, выше НВАЭС	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	48 13 4 65	172493 171828 15984 360305	1,619083 0,226119 0,020566 1,865768
15.07.2003	3. Нововоронеж, р. Дон, выход старицы	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	16 6 3 25	89242 152514 6660 248416	0,45229 0,00884 0,0012 0,46233
15.07.2003	4. Нововоронеж, р. Дон, 500 м ниже выхода старицы	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	29 8 3 40	125868 90354 7992 224214	0,370079 0,01269 0,001326 0,384095
15.07.2003	5. Сторожевое, р. Дон	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	26 6 5 37	157168 181818 20978 359964	1,111519 0,0341 0,045435 1,191054
Водоем охладитель 1, 2 блока НВАЭС					
12.07.2003	1. Водоем охладитель до дамбы, $t_{\text{воды}} 37^{\circ}\text{C}$	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta	1 7 8	15984 43290 59294	0,00132 0,005512 0,006832
12.07.2003	2. Водоем охладитель после дамбы $t_{\text{воды}} 31^{\circ}\text{C}$	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	2 11 5 18	35964 114152 37962 188078	0,00262 0,21841 0,00942 0,23045
12.07.2003	3. Водоем охладитель Пляж $t_{\text{воды}} 29^{\circ}\text{C}$	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	9 13 3 25	59940 93240 28604 181784	0,03321 0,084577 0,006176 0,123963
12.07.2003	4. Старица	Тип Bacillariophyta Тип Cyanophyta Тип Chlorophyta	20 4 7 31	93240 43512 35924 172672	0,035492 0,00286 0,063801 0,102153

Таблица 2

Классификация вод р. Дон и водоема охладителя 1—2 блоков НВАЭС по показателям сапробности сообществ низших водорослей

Станция наблюдения	Индекс сапробности (S)	Класс воды	Воды
1. р. Дон, с. Малышево	1,79	3β	Умеренно загрязненные
2. р. Дон, Нововоронеж, выше НВАЭС	1,89	3β	Умеренно загрязненные
3. р. Дон напротив НВАЭС, водовыпуск старицы ($t_{\text{воды}} 28^{\circ}\text{C}$)	2,21	3β	Умеренно загрязненные
4. р. Дон в 500 м ниже НВАЭС	1,89	3β	Умеренно загрязненные
5. р. Дон, с. Сторожевое	1,79	3β	Умеренно загрязненные
Водоем охладитель, до дамбы ($t_{\text{воды}} 37^{\circ}\text{C}$)	2,57	4α-р	Загрязненные
Водоем охладитель, после дамбы ($t_{\text{воды}} 31^{\circ}\text{C}$)	1,94	3β	Умеренно загрязненные
Водоем охладитель, пляж ($t_{\text{воды}} 29^{\circ}\text{C}$)	2,2	3β-α	Умеренно загрязненные

менее 8 видов индикаторов); при температуре 31 °С (после дамбы) и 28 °С (старица) — умеренно загрязненные воды 3 класса бета-мезосапробные и при температуре воды 29 °С (пляж) — умеренно загрязненные воды 3 класса бета-альфа-мезосапробные.

ВЫВОДЫ

В формировании уровенного режима грунтовых вод плиоцен — четвертичного водоносного комплекса на промплощадке НВАЭС приоритетная роль принадлежит антропогенному (техногенному) воздействию на систему вода — горная порода. Следовательно, наблюдения за режимом грунтовых вод должны носить систематический характер. При разработке гидромониторинга необходимо расширить сеть наблюдательных скважин, охватывая пойму реки Дон, в целях исследования уровенного режима в первой активной зоне.

Рекомендуемая программа работ гидромониторинга промплощадки включает следующие задачи:

1. Оценка состояния сооружений и водонесущих коммуникаций, которые могут быть фактически и потенциально опасными в нарушение режима подземных вод.

2. Установление режима поверхностных и подземных вод по данным среднемесячных замеров.

3. Выявление уровенного режима подземных вод в береговой зоне реки Дон и оценка изменчивости амплитуды колебания УГВ в зависимости от глубины залегания УГВ.

4. Выявление площади взаимодействия плиоцен-четвертичного водоносного комплекса и верхне-щигровского водоносного горизонта.

5. Оценка сферы влияния депрессионной воронки водозабора “Промзона” на водоносный комплекс плиоцен-четвертичных отложений.

6. Уточнение сферы влияния депрессионной воронки дренажных колодцев на подземные воды.

7. Установление перманентных границ куполов растекания слабоактивных жидких отходов на участке ХЖО и сточных вод на участке полей фильтрации.

8. Выявление химического режима подземных вод.

9. В процессе реализации мероприятий по управлению состоянием режима подземных вод,

осуществление контроля через заданные интервалы времени за динамикой уровенного режима, конфигурацией депрессионных воронок и куполов растекания.

Мониторинг включает:

— систему режимных наблюдений за состоянием естественных и искусственных компонентов природно-техногенной системы: сеть наблюдательных скважин, гидрологических постов, водопунктов и др.;

— блок накопления, хранения и обработки информации о текущем состоянии ПТС, включающий блок данных и соответствующую вычислительную технику.

На основе объединения видовой разнообразия, систематического и экологического состава сообществ низших водорослей получены показатели эколого-биологического состояния изученной водной экосистемы. Определено, что выпуск в Дон вод, охлаждающих 1 и 2 блоки АЭС, оказывает на акваторию Дона в этом районе воздействие, вызывающее более высокую интенсивность гидробиологических процессов по сравнению с акваторией реки в целом. По способности к самоочищению степень кризисности экосистемы Дона в настоящее время находится в стадии обратимых изменений [2]. При значении показателей индекса сапробности в интервале от 1,51 до 2,50 и нахождении процессов самоочищения в β -мезосапробной зоне, величина загрязненности вод определяется как “умеренно загрязненные”. По уровню процессов переработки, окисления и минерализации органического вещества сообщество может двигаться как в сторону увеличения сапробности и снижения видовой разнообразия, так и в обратную сторону. Последнее направление можно считать восстановлением природного состояния в процессе самоочищения. Оно возможно при понижении сложившегося в настоящее время уровня поступающих органических и токсических веществ. По наблюдениям в створе, расположенном выше НВАЭС (левый берег Дона, песчаный пляж), восстанавливаются сообщества низших водорослей чрезвычайно загрязненных местообитаний, что свидетельствует о высоком уровне загрязнений, основным источником которых являются коммунально-бытовые и промышленные стоки с территории г. Нововоронежа.

Значительный объем биогенных веществ поступает также в реку и с терригенным мате-

риалом при разрушении берегов Дона. На высоком правобережном берегу Дона напротив НВАЭС на протяжении не менее 3 км отмечается высокая эрозионная расчлененность мелового склона. Все овраги и ложбины стока активно действующие. Активный эрозионный процесс прослеживается, затухая, как вверх по Дону до северных окраин с. Костенки, так и вниз, до с. Сторожевого, но эпицентр данного явления локализован напротив блоков АЭС [8]. В настоящее время происходит также высокая эрозионная активность на левобережье Дона, непосредственно перед АЭС, выше по течению [10]. По нашим полевым наблюдениям 2003 г. пойменные склоны левобережья, высотой первые метры, буквально обрушиваются в Дон. Это природные предпосылки, вызывающие разрушение берегов.

Возможной причиной активизации эрозионных процессов является расположенный на левобережной надпойменной террасе Дона открытый водоем охладитель. Испарения с его поверхности, а также сброс теплых вод через старицу в р. Дон, продлевают срок эрозии берегов вплоть до зимних месяцев. Поверхностные воды напротив водоема охладителя сохраняют эродирующую способность, в то время как вне зоны их влияния они замерзают.

Первоочередными природоохранными мерами должны стать разработка мероприятий по защите берегов Дона от интенсивных эрозионных процессов, меры, направленные на снижение температуры вод водоема охладителя.

Не менее актуальным является неукоснительное выполнение нормативных требований по очистке промышленных и коммунально-бытовых отходов и эксплуатации водных объектов предприятиями разных отраслей промышленности г. Нововоронежа. Для чего необходимо обеспечение рабочего состояния очистных сооружений, канализационных систем, полей фильтрации загрязняющих веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферова Г.А. Эволюция диатомовой флоры и озерного осадконакопления центра Восточно-Ев-

ропейской равнины в неоплейстоцене / Г. А. Анциферова // Труды НИИ Геологии ВГУ. — Вып. 2. — Воронеж, 2001. — 198 с.

2. Анциферова Г.А. Эколого-биологическое состояние р. Дон в пределах Воронежской области / Г. А. Анциферова // Экология бассейна Дона. — Воронеж, 2005. — С. 104—108.

3. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод / А. В. Макрушин. — Л., 1974. — 60 с.

4. Смирнова А.Я. К проблеме гидрогеологического мониторинга в районе атомных электростанций (на примере Нововоронежской АЭС) / А. Я. Смирнова, Л. Н. Строгонова // Тр. междунар. конф. «Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов». — Воронеж, 2001. — С. 177—179.

5. Смирнова А.Я. Проблемы мониторинга подземных вод в районе атомных электростанций (на примере Нововоронежской АЭС) / А. Я. Смирнова, Л. Н. Строгонова // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Тр. VII Всер. науч.-тех. конф. — Томск, — 2001. — С. 199—203.

6. Смирнова А.Я. О гидромониторинге в районе Нововоронежской атомной электростанции / А. Я. Смирнова, Л. Н. Строгонова, Р. А. Авлиякулиева // Эколог. вестник Черноземья. — Воронеж, 2000. — Вып. 9. — С. 8—10.

7. Смирнова А.Я. Формирование уровня режима грунтовых вод в районе Нововоронежской атомной электростанции / А. Я. Смирнова, Л. Н. Строгонова, Р. А. Беннер // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — Воронеж, 1999. — Вып. 7. — С. 216—223

8. Тарков А.П. Результаты микросейсмокаротажных работ в ближней зоне НВ АЭС / А. П. Тарков, К. Ю. Силкин // Вестн. ВГУ, сер. геол., 2000, № 3(9). — С. 197—204.

9. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. Индикаторы сапробности. — М.: Изд-во СЭВ, 1977. — С. 21—31.

10. Шевырев С.Л. Мониторинг инженерно-геологической ситуации (состояния овражно-балочной сети) долины р. Дон в районе Нововоронежской атомной станции по данным дешифрирования космических снимков 1970-х, 1980-х, 1990—2000 гг. / С. Л. Шевырев // Экология бассейна Дона. — Воронеж, 2005. — С. 102—103.

11. Экологический мониторинг. Методы биомониторинга. — Н. Новгород, 1995. — Часть 1. — 190 с.