

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА
УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ
ПО ПРОИЗВОДСТВУ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Д. А. Белозеров, М. А. Хованская

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 24 декабря 2014 г.

Аннотация: производство удобрений является одним из крупнейших факторов загрязнения подземных вод в Воронежской области. Для анализа состояния подземных вод, а также оценки эффективности мероприятий по охране окружающей среды в районе ОАО «Минудобрения» была произведена пространственно-временная оценка состояния подземных вод за многолетний период наблюдений. В итоге, получены результаты сравнительного анализа загрязнения водоносных горизонтов нитратами, аммонийным азотом и по суммарному показателю загрязнения, которые позволили сделать ряд выводов и заключений, необходимых для проведения дальнейших мероприятий по охране окружающей среды.

Ключевые слова: подземные воды, производство удобрений, загрязнение, сравнительный анализ, нитраты, аммонийный азот, суммарный показатель загрязнения.

SPATIAL-TEMPORAL EVALUATION LEVELS OF GROUNDWATER POLLUTION OF NITROGEN COMPOUNDS IN THE ZONE OF ENTERPRISES FOR THE PRODUCTION OF MINERAL FERTILIZERS

Abstract: production of fertilizers is one of the largest factors of groundwater pollution in the Voronezh region. For the analysis of groundwater, as well as evaluating the effectiveness of measures to protect the environment in the area of JSC «Minudobreniya» was the spatio-temporal assessment of groundwater for long-term observation period. As a result, obtained the results of the comparative analysis of aquifer contamination by nitrates, ammonium nitrogen and total pollution index, which led to several findings and conclusions necessary for further measures to protect the environment.

Keywords: ground water, fertilizer production, pollution, comparative analysis, nitrates, ammonia nitrogen, total pollution index

Согласно многолетним исследованиям на территории Воронежской области существует несколько крупных и опасных источников загрязнения подземных вод. Одним из наиболее значительных по масштабу, степени воздействия является предприятие ОАО «Минудобрения» в Россошанском районе, в результате функционирования которого, сформировался устойчивый, чрезвычайно опасный очаг загрязнения [1, 3, 4].

Огромный вклад в оценку деятельности ОАО «Минудобрения» внесли высококвалифицированные специалисты ВРО РОСГЕО, усилиями которых осуществлялся внешний мониторинг состояния подземных вод в течение многих лет.

Данный участок загрязнения существует уже не один десяток лет. Так, в ходе наших предыдущих исследований проводилась сравнительная оценка состояния верхнечетвертичного аллювиального и турон-коньякого водоносных горизонтов за пятнадцатилетний период (до 2007 года) [1]. В итоге, были получе-

ны чрезвычайно высокие значения концентраций по основным загрязняющим ингредиентам. После 2007 года, на протяжении нескольких лет, на данном предприятии затрачивались большие средства, в том числе и капитальные вложения, в охрану окружающей среды. В этой связи, оценка состояния подземных вод в 2010–2011 гг. является актуальной темой.

Цель настоящих исследований – дать пространственно-временную оценку уровней загрязнения подземных вод в зоне влияния предприятия по производству минеральных удобрений.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач.

1) Произвести оценку состояния наиболее эксплуатируемых водоносных горизонтов по концентрациям основных загрязняющих ингредиентов: нитратов и аммонийного азота [1].

2) Дать комплексную оценку состояния подземных вод по суммарному показателю загрязнения (СПЗ), включающему следующие компоненты: NH_4

NO_3 , Cl , SO_4 , Na , $\text{Fe}_{\text{общ}}$.

3) Произвести анализ изменения состояния тулон-коньякского и верхнечетвертичного аллювиального водоносных горизонтов по результатам прошлых исследований [1, 2] и исследований 2010, 2011 годов.

Изучаемая территория находится в Россошанском районе Воронежской области. В пределах этой территории находятся населенные пункты: город Россошь, села Евстратовка, Терновка, Лощина, Морозовка, Колбинское, Старая Калитва. В географическом отношении район исследований расположен в юго-восточной части Среднерусской возвышенности, на правобережье реки Дон, в административном отношении – в южной части Воронежской области. Население г. Россошь около 60 тыс. человек. Непосредственно исследуемым объектом является площадка химического комбината, расположенного в 5–6 км юго-восточнее города Россошь, и его санитарная зона. Площадь данного участка – 15 км. Радиус СЗЗ по всем направлениям составляет не менее 2 км.

Климат района – умеренно-континентальный, со среднегодовой температурой +6,60 °С. Речная сеть района принадлежит бассейну Дона. Основными водными артериями района являются правый приток Дона – р. Черная Калитва, с впадающей в нее рекой Россошь. Река Черная Калитва представлена средним и нижним течением. Ширина русла меняется от 5–7 м до 20–60 м, а скорость течения от 0,1 до 0,3 м/сек. Глубина редко превышает 2 м.

Абсолютные отметки достигают около 200 м на водоразделах. Долина рек Черная Калитва и Дон характеризуются наиболее низкими отметками (66–70 м).

Левобережье Черной Калитвы образовано пологими ступенями четвертичных и неогеновых террас. Первая и вторая надпойменные террасы аккумулятивные, высотой над урезом воды (соответственно) 10–12 м и 20–25 м. Третья и четвертая надпойменные террасы высотой (соответственно) 30–35 м и 40–45 м над урезом воды. Ширина террас варьирует от 1 до 4,7 км.

Промышленная площадка ОАО «Минудобрения» находится на второй надпойменной террасе, а пруды-накопители на 3 и 4 террасах. Шламонакопители находятся у бровки террасы с абсолютными отметками 74,2–83,1 м, с наклоном поверхности к руслу реки 7–9 градусов. Пойма реки представлена ровной поверхностью в районе изучаемой территории, с отметками 72,2–72,8 м и шириной – 1–2 км.

В литологическом строении территории до глубины 20–40 метров принимают участие преимущественно супесчаные верхнечетвертичные отложения, а также современные аллювиальные образования, представленные песчаными и суглинистыми отложениями. Под ними, до глубины 40–90 метров, повсеместно распространены отложения верхнемелового возраста, трансгрессивно залегающие на подстилающих отложениях и представленные всеми ярусами от сеномана до кампана. Сложены белым писчим мелом с прослоями (до 2 м) светло-серого глинистого мела и мелоподобного мергеля, местами мелкозернистого песка. Мощность достигает 120–150 метров и более.

В гидрогеологическом отношении изучаемая территория представлена следующими основными водоносными горизонтами:

Водоносный современный аллювиальный горизонт (aIV) приурочен к пойменным и русловым аллювиальным отложениям. Водовмещающие отложения в долинах рек представлены разнозернистыми песками. Мощность водоносного горизонта составляет от десятков сантиметров до 8–12 метров. Абсолютные отметки уровней изменяются от 73 до 87 м. Преобладают воды смешанного и гидрокарбонатно-сульфатного состава.

Водоносный верхнечетвертичный аллювиальный горизонт (a III) приурочен к аллювиальным отложениям первой и второй надпойменных террас крупных и малых рек. Водоупорной кровли горизонт не имеет, водоупорное ложе тоже отсутствует, подстилается он на большей части своего распространения обводненными породами верхнего мела, а по долине р. Черная Калитва водноледниковыми отложениями. Водовмещающими породами являются пески мелко-среднезернистые с прослоями супесей и суглинков в верхней части разреза и с галькой в основании. Мощность горизонта изменяется от долей метра до 20 метров (в долине реки Дон), преобладает мощность 8–10 м. Абсолютные отметки уровня воды изменяются в пределах от 65 до 118 м. Коэффициент фильтрации водовмещающих отложений меняется от 0,4 до 5,0 м/сут. Водообильность горизонта незначительна. Преобладают воды сульфатно-гидрокарбонатного и смешанного состава с различным соотношением катионов.

Водоносный верхнемеловой карбонатный комплекс (K₂) имеет почти повсеместное распространение на описываемой территории. Водоносный комплекс представлен меловыми породами тулонского, коньякского и др. ярусов верхнего мела. Мощность обводненной толщи достигает 130 м. Комплекс, как правило, безнапорный. Выдержанный подстилающий водоупор отсутствует. Отметки уровней подземных вод изменяются от 118–120 до 70 м – зафиксированы в приустьевой части долины реки Черная Калитва. По химическому составу воды комплекса гидрокарбонатные магниевые-кальциевые или натриево-кальциевые и гидрокарбонатно-сульфатные; в основном пресные и слабосоленоватые с минерализацией 0,4 – 3,3 г/дм³, преобладают значения 0,4 – 0,6 г/дм³ [3].

Питание водоносного комплекса происходит за счет атмосферных осадков, перетока вод из вышележающих водоносных подразделений.

Верхнемеловой водоносный комплекс на описываемой площади является основным эксплуатационным водоносным комплексом. Подземные воды комплекса широко используются для централизованного водоснабжения при помощи одиночных скважин и групповых водозаборов.

Сравнительный анализ загрязнения подземных вод нитратами

После продолжительного отсутствия внешнего мониторинга, по сравнению с исследованиями 2007

года [1], в мае 2010 года в центральной части фиксируется тенденция резкого вытягивания пятна поражения нитратами на юге, что подтверждается данными по наблюдательным скважинам. Увеличение составило: в скв. № 4н – с 298 мг/дм³ до 1331,1 мг/дм³, в скв. № 12н – со 155 мг/дм³ до 365,4 мг/дм³, в скв. № 105 – со 105 мг/дм³ до 370,2 мг/дм³. На территории прудов-накопителей отмечается сокращение ореола загрязнения подземных вод. В отдельных скважинах фиксируется значительное снижение концентраций нитратов: № 20н – в 44,3 раза, № 26н – в 37,2 раза. Кроме того, существенным аспектом в данном районе является отсутствие участков, относящихся к опасным по состоянию подземных вод. Такое улучшение экологической ситуации во многом связано с природоохранными мероприятиями – дополнительной экранизацией прудов-накопителей, модернизацией производства, ремонтом и улучшением системы водоочистки предприятия. Максимальные концентрации рассматриваемого загрязняющего вещества (ЗВ) составили 203, 2 мг/дм³. Суммарная территория, на которой отмечается превышение ПДК составляет 13,09 км², а превышение 15 ПДК – 3,58 км².

В августе 2010 года большая часть района комбината ОАО «Минудобрения» находилась в поле чрезвычайно опасного уровня загрязнения подземных вод нитратами. Значительных изменений, по сравнению с маем этого года, в распространении ореола загрязнения не наблюдается. Однако, за три месяца произошло существенное изменение концентраций NO₃ в отдельных пунктах наблюдения. Так, в скважине № 105 фиксируется увеличение загрязнения почти в 2 раза (до 727,9 мг/дм³), а в скважине № 21, 4 уменьшение составило соответственно в 2 (до 177 мг/дм³) и в 1,4 раза (до 982 мг/дм³). В северной части рассматриваемого пространства появились опасные по состоянию эколого-геологических систем участки, что скорее всего, определяется аномально высокими температурами летом, приведшими к активизации процессов испарительного концентрирования в прудах-накопителях. В итоге, по состоянию подземных вод, к территории со значительным уровнем загрязнения относится 15,66 км², а к чрезвычайно опасной – 3,15 км².

Анализ состояния подземных вод в октябре 2010 года выявил схожесть их состояния в мае этого же года. В наблюдательном пункте № 4 отмечается максимальный уровень загрязнения за 5-летний период (с 2006 по 2011 года), что сказалось и на максимальном уровне распространения ореола в юго-западном направлении, что также во многом объясняется увеличением производства и, вероятно, высокими летними температурами. В районе отстойников ситуация с загрязнением подземных вод нитратами улучшилась, что подтверждается отсутствием опасного состояния рассматриваемого компонента. Площадь территории, где загрязнение >1ПДК по рассматриваемому компоненту равна 14,87 км², а >15 ПДК – 3,48 км².

В январе 2011 года площадь загрязнения в центральной части увеличилась (рис. 1). Ореол загрязнения вновь вытянулся в юго-западном направлении, в

направлении течения подземных вод. Это отмечается по максимальным концентрациям NO₃ в данном районе (скв. № 105 – 892,9 мг/дм³). В районе прудов-накопителей фиксируется обратная тенденция к сокращению загрязнения, где отмечается относительно низкая площадь поражения подземных вод с 2006 года. В целом, ситуация в северной части значительно улучшилась. Концентрации соединения азота уменьшились до 2,1 ПДК. Однако, в районе производственных сооружений положение остается негативным, где местами наблюдается более 120 ПДК по нитратам. Таким образом, площадь территории со значительным загрязнением составила 12,71 км², а чрезвычайно опасной – 3,44 км².

Сравнительный анализ загрязнения подземных вод аммонийным азотом

После 2-х летнего перерыва внешний мониторинг был возобновлен и в мае 2010 года. Данный период был ознаменован минимальным уровнем загрязнения с 2006 года. В целом, на территории центральной производственной части степень загрязнения значительно снизилась. Однако, ореол загрязнения еще более вытянулся в юго-западном направлении, за счет увеличения аммонийного азота в подземных водах в районе хранилища аммиака и бывших полей фильтрации. На участке, где располагаются отстойники, загрязнение подземных вод более 1 ПДК по NH₄ не обнаружено. Во многом улучшение ситуации объясняется природоохранными мероприятиями по модернизации оборудования и ликвидации утечек из прудов-накопителей. Таким образом, площадь значительного загрязнения подземных вод составляет 7,72 км², а чрезвычайно опасного – 3,77 км².

В августе 2010 года произошло улучшения качества подземных вод по рассматриваемому компоненту. Пространственно эколого-гидрогеохимическая аномалия, вероятно в связи с аномально жарким летом, сократилась в юго-западном, юго-восточном и восточном направлениях. В районе прудов-накопителей отмечается незначительное увеличение концентраций аммонийного азота. Площадь умеренно опасного состояния подземных вод в северной части равна 9,65 км². В итоге, на значительный уровень загрязнения приходится 16,05 км², а на чрезвычайно опасное – 3,73 км² изучаемого пространства.

В октябре 2010 года контуры ореола загрязнения подземных вод заметно вытянулись в северном, северо-восточном, восточном и юго-западном направлении, что фиксируется скв. № 105 – в 7,9 раза (максимум за период с 2006 года), скв. № 3п – в 3,5 раза, скв. № 109 – в 4,6 раза, скв. № 25а – в 3,1 раза, что связано с увеличением объема производства и, предположительно, с высокими летними температурами, активизирующими процессы испарительного концентрирования. На территории отстойников отмечается значительное увеличение концентраций ЗВ в юго-западном направлении. На данный период пространство, где воды водоносного верхнемелового карбонатного комплекса содержат NH₄ более 1 ПДК равно 12,01 км², более 15 ПДК – 3,77 км².

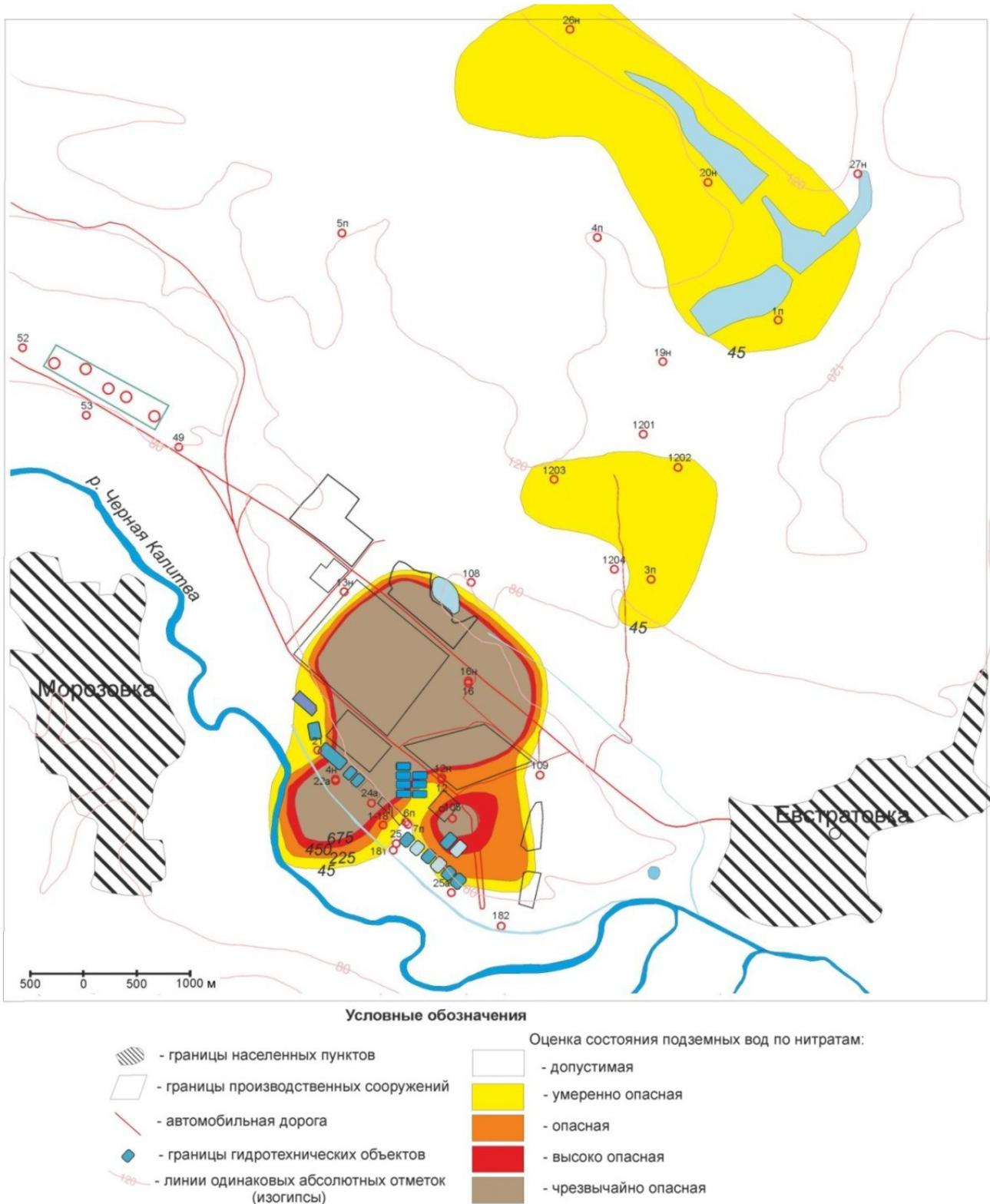


Рис. 1. Оценка загрязнения основных эксплуатационных водоносных горизонтов нитратами в 2011 году

В январе 2011 года зафиксировано уменьшение степени загрязнения исследуемого водоносного горизонта. Отмечаются минимальные значения аммонийного азота за пятилетний период (2006–2011 гг.) в скважинах № 16н – 838, 7 мг/дм³ (419,35 ПДК) № 4н – 12,8 мг/дм³ (6,4 ПДК), а также в районе отстойников – № 1п, 19н, 4п, 26н, 5п. Для промышленной площадки

контуры повышенных значений рассматриваемого компонента сократились на северо-востоке. Для прудов-накопителей характерно снижение площади умеренно опасного состояния подземных вод в 1,5 раза. Итого, пространство со значительным уровне загрязнения составило 10,59 км², а с чрезвычайно опасным – 4,20 км².

Сравнительный анализ загрязнения подземных вод по СПЗ

Общая картина по состоянию подземных вод пререпела значительные изменения в мае 2010 года. В центральной части промплощадки отмечается увеличение ореола деградации водоносного горизонта на юго-востоке. Однако, площадь, участка с СПЗ >10 уменьшилась. На рассматриваемой территории отмечено увеличение загрязнения подземных вод на северо-западе, где контур загрязнения значительно продвинулся. Таким образом, площадь со значительным уровнем загрязнения увеличилась, но степень деградации подземных вод снизилась, особенно в районе накопителей, где отсутствуют изолинии с СПЗ равным 5. Данный период отмечен рядом минимальных значений (с 2006 года), вплоть до нулевого, Z_c в наблюдательных пунктах: № 49 – 1,7, № 53 – 1,54, № 27н – 0, № 52 – 1,9, № 1204 – 0, № 1201 – 0. Это обусловлено мероприятиями по охране окружающей среды: ремонтом прудов-накопителей, очистных сооружений. Площадь со значительным уровнем загрязнения составила 34,16 км², чрезвычайно опасная – 5,04 км².

Август 2010 года отмечен менее существенным изменением состояния подземных вод. Так, на юго-востоке влияние резервуара для хранения аммиака и шламонакопителей, а также отстойников стало сильнее, а участка водоподготовки менее значительным. Это подтверждается максимальными значениями суммарного показателя загрязнения (СПЗ) в скважинах № 25а, 13н, 5п, 1п. Территории, в районе расположения ОАО «Минудобрения», где СПЗ>1 и СПЗ>15 составили соответственно 38,79 км² и 5,11 км².

Существенное осложнение эколого-гидрогеохимической ситуации отмечено в октябре 2010 года. Ореол загрязнения сильно расширился на всей территории, прилегающей к производственному центру, а также в районе прудов-накопителей. На севере исследуемой территории расширился контур умеренно опасного состояния подземных вод, более того, на западе изучаемого пространства фиксируется первое с 2006 года появление изолинии СПЗ со значением 5. В ряде скважин отмечаются наибольшие значения за 5 лет: № 108, 49, 53, 27н, 19н, 3п, 52. Все это привело к тому, что на протяжении 5 рассматриваемых лет данный отрезок времени стал весьма значительным по площади загрязнения (СПЗ>1), которая составила

44,38 км². Данные результаты обусловлены рядом причин: аномально жарким летом, увеличением производства и природного загрязнения вод. На чрезвычайно опасное загрязнение приходится территория в 6,49 км².

В январе 2011 года ореол загрязнения изменился незначительно. Однако территории опасного и высоко опасного состояния подземных вод значительно сократились, особенно в районе прудов-накопителей. Фиксируется максимальное продвижение эколого-гидрогеохимической аномалии на юго-восток территории промышленной зоны. В то же время, отмечаются минимальные значения СПЗ в скв. № 5п, 1п. В целом, в январе 2011 года площадь со значительным уровнем загрязнения подземных вод достигла наибольшего значения за 5 лет и составила 44,60 км², а площадь чрезвычайно опасной 6,48 км².

Таким образом, по состоянию на 2011 год преобладает умеренно опасное состояние основного эксплуатационного горизонта, что соответствует суммарному показателю загрязнения от 1 до 5. Основными загрязняющими компонентами являются соединения азота: нитраты и аммонийный азот. Превышения по остальным компонентам и веществам относительно незначительны. По данным эколого-гидрогеохимического мониторинга были построены графики состояния подземных вод по СПЗ (рис. 2–5).

Анализ загрязнения подземной гидросферы района химического предприятия показал, что до второго полугодия 2007 года отчетливо фиксировалась тенденция увеличения площади загрязнения. Значительное снижение загрязнения подземных вод, особенно в районе каскада прудов-накопителей, произошло в мае 2010 года. Из соотношения площадей загрязнения подземных вод видно, что участки, загрязненные по СПЗ близки по площади к участкам загрязнения подземных вод нитратами и аммонийным азотом, и на роль остальных химических элементов в формировании загрязнения приходится незначительная доля. Так например, во 2-ом полугодии 2006 года на площади со значительным уровнем загрязнения приходилось по аммонийному азоту 26,5 км², по нитратам (только для промзоны) – 6,5 км², а по СПЗ – 32 км². Одно из самых значительных загрязнений приходится на второстепенные элементы в октябре 2010 года, когда на площади с СПЗ>1 приходится 44 км², а на суммарную площадь по NH₄ и NO₃ с ПДК>1 – 35 км².

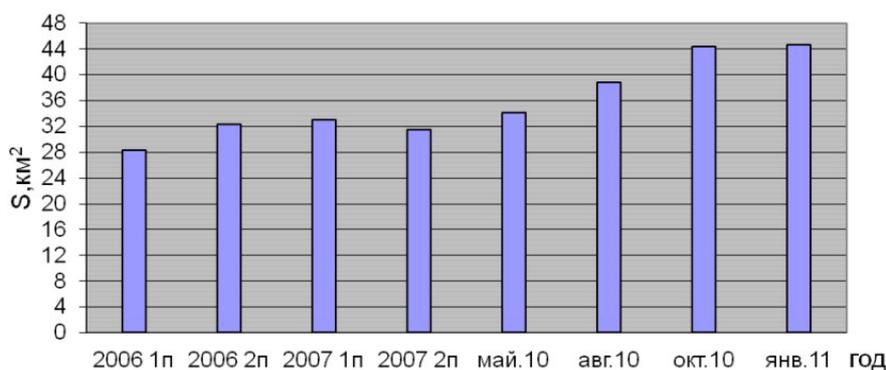


Рис 2. Диаграмма временной динамики площадей участков с СПЗ >1

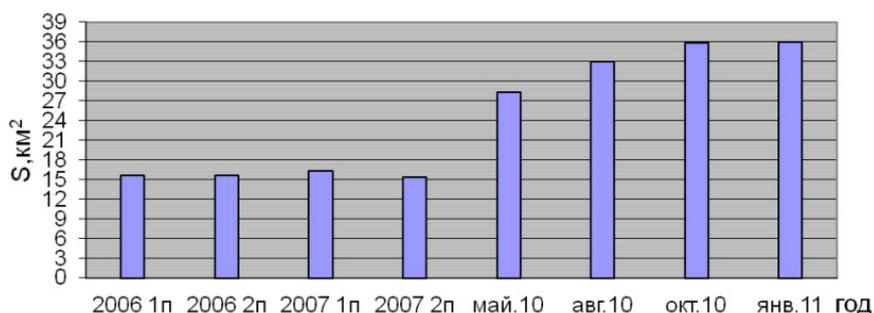


Рис. 3. Диаграмма временной динамики площадей участков умеренно опасного и опасного состояния подземных вод (по СПЗ)

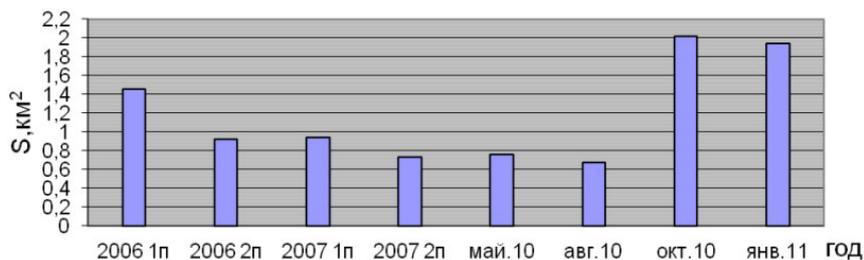


Рис. 4. Диаграмма временной динамики площадей участков высоко опасного состояния подземных вод (по СПЗ)

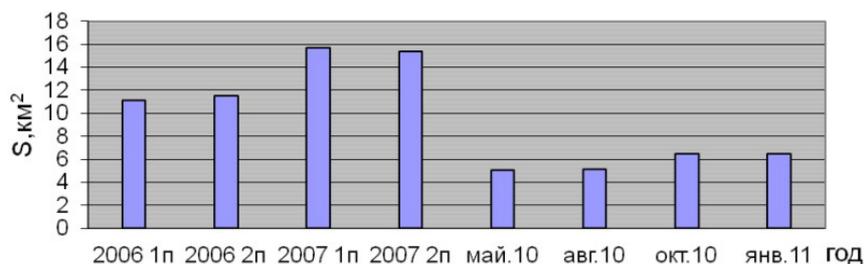


Рис. 5. Диаграмма временной динамики площадей участков чрезвычайно опасного состояния подземных вод (по СПЗ)

Таким образом, проанализировав изменение состояния турон-коньякского и верхнечетвертичного водоносных горизонтов в районе ОАО «Минудобрения», по результатам предыдущих исследований (до 2007 года) [1] и исследований 2010–2011 годов, можно сделать следующие выводы:

1) ОАО «Минудобрения», по-прежнему является значимым объектом, влияющим на трансформацию подземных вод.

2) Продолжает отчетливо фиксироваться воздействие двух основных источников загрязнения подземной гидросферы:

- центральной промышленной площадки, с внеплощадными сооружениями, такими как ливнеотстойники, шламонакопители, емкость для аммиака и т.д;

- комплекса прудов-накопителей.

3) В 2010 году произошло общее снижение уровня загрязнения, но в то же время увеличение площади ореола загрязненных вод. Это в значительной степени обусловлено рядом природоохранных мероприятий: модернизацией оборудования, ремонтом очистных сооружений, дополнительным экранированием прудов-накопителей.

4) Основные пути миграции загрязняющих веществ, для производственной площадки и прудов-

накопителей, в целом, совпадают с направлением течения подземных вод: юго-запад, юг, юго-восток.

5) За 20-летний период проведения эколого-гидрогеохимического мониторинга выявлено, что пиковым годом (особенно по чрезвычайно опасному состоянию подземных вод) был 1992 год [3,4].

6) Площади подземных вод со значительным уровнем загрязнения по СПЗ и суммарно по азотам (NH_4 и NO_3) близки. На значимый уровень загрязнения по всем остальным элементам приходится до 15–20 %. То есть, главная роль в загрязнении подземных вод аммонийным азотом и нитратами подтвердилась.

7) Рассмотрев динамику загрязнения подземных вод нитратами, аммонийным азотом и по СПЗ, с учетом наших предыдущих исследований [1], можно выделить два основных рубежа улучшения экологической обстановки: а) 1992 – 2006 гг., когда происходило постепенное прекращение эксплуатации полей фильтрации; б) 2007 – 2010 гг. – период значительного обновления производственных мощностей и ремонта очистных сооружений, дополнительная экранизация прудов-накопителей.

8) Общее значительное снижение деградации подземных вод обусловлено, преимущественно, снижением загрязнения подземных вод в районе каскада

прудов-накопителей.

9) На протяжении всего периода наблюдения, с 1992 по 2011 года, состояние основных эксплуатационных водоносных горизонтов в районе центральной промышленной площадки и близлежащих вспомогательных сооружениях оценивалось как чрезвычайно опасное.

Данные результаты необходимо обязательно учитывать и использовать при планировании природоохранной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Косинова, И. И. Трансформация подземных вод в зоне влияния предприятия химической промышленности ОАО "Минудобрения" / И. И. Косинова, Д. А. Белозеров // Проблемы региональной экологии: общественно-науч. журн. – № 3. – 2011. – С. 54–60.
- 2 Белозеров, Д. А. Загрязнение подземных вод аммонийным азотом в зоне влияния предприятия химической промышлен-

ности ОАО "Минудобрения" / Д. А. Белозеров // Обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Воронеж, 10 дек. 2010 г. – Воронеж, 2010. – Ч. 2. – С. 135–139.

3 Бочаров, В. Л. Мониторинг природно-технических экосистем (на примере ОАО "Минеральные удобрения") / В. Л. Бочаров, Ю. М. Зинюков, Л. А. Смоляницкий. – Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – Воронеж : Истоки, 2000. – 226 с.

4 Зинюков, Ю. М. Теоретико-методологические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей / Ю. М. Зинюков; [науч. ред. В. Л. Бочаров]. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 164 с.

5 Косинова, И. И. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование: учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению 511000 "Геология" и университетским геол. специальностям / И. И. Косинова, В. А. Богословский, В. А. Бударина. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2004. – 279 с.

Воронежский государственный университет

*Белозеров Д. А., доцент кафедры экологической геологии, кандидат географических наук
E-mail: belozerovdenis@yandex.ru
Тел.: 89038507664*

*Хованская М. А., доцент кафедры экологической геологии, кандидат географических наук
E-mail: mashunia86@yandex.ru
Тел.: 8 (4732) 208-289*

Voronezh State University

*Belozerov D. A., Associate professor of Ecological Geology Chair, Candidate of Geographical Sciences
E-mail: belozerovdenis@yandex.ru
Tel.: 89038507664*

*Hovanskaya M. A., Associate professor of Ecological Geology Chair, Candidate of Geographical Sciences
E-mail: mashunia86@yandex.ru
Tel.: 8 (4732) 208-289*