

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ «НЕФТЕХРАНИЛИЩЕ «КРАСНОЕ ЗНАМЯ» – ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА» (г. ВОРОНЕЖ)

Ю.М. Зинюков

Воронежский государственный университет

Оптимизация мониторинга природно-технических экосистем (ПТЭС) связывается с разработкой и внедрением новых методик конструирования моделей исследуемых систем, представляющих собой сложные объекты природно-техногенного происхождения. В данной статье рассматривается оригинальная методика организации и ведения мониторинга ПТЭС, разработанная автором на основе структурного моделирования сложных природно-техногенных взаимодействий, практически адаптированная при организации мониторинга ПТЭС «нефтехранилище «Красное Знамя» – геологическая среда». Предлагаемая методика опирается на целевое направление контроля, прогноза и управления состоянием ПТЭС.

В последнее десятилетие значительно возрос уровень загрязнения геологической среды нефтепродуктами в крупных городах, что связано с ростом автотранспортных предприятий, автозаправочных станций и автомоек, нефтебаз и нефтехранилищ различного уровня. К разряду такого рода объектов относится и предприятие «Красное Знамя», представляющее собой крупное нефтехранилище государственного резерва.

Территория предприятия расположена в левобережной части г. Воронежа по ул. Димитрова и занимает площадь 48, 45 га. Территория предприятия первой группы складирования эксплуатируется с 1938-1940 гг. Железнодорожная сливно-наливная эстакада введена в действие с 1951 года. На первых этапах эксплуатации на предприятии осуществлялось хранение авиационного бензина, в том числе этилированного, и спиртаректификата. Впоследствии и по настоящее время основная производственная задача предприятия состоит в приеме, хранении и периодической замене топлива для реактивных двигателей. В последние годы предприятие принимает на хранение бензин марки А-76.

В геоморфологическом отношении исследуемая территория расположена на западном склоне водораздела рек Воронеж – Усмань, на второй надпойменной террасе реки Воронеж. Геологическое строение территории характеризуется развитием верхнечетвертичных аллювиальных (преимущественно – песчаных) отложений мощностью 25-30 м, аллювиальных песчаных и гравийно-щебнистых отложений неогена мощностью 30 м, залегающих на плотных известковистых глинах и известняках девона.

Гидрогеологические условия (до глубины 65 м) характеризуются развитием подземных вод неоген-четвертичного водоносного комплекса. Глубина залегания уровня подземных вод в пределах промплощадки составляет 12,6-15,7 м (абс. отм. 97,14-97,41 м). Общее направление потока – с востока на запад, к долине реки Воронеж.

Неоген-четвертичный водоносный комплекс обладает вертикальной фильтрационной неоднородностью. В верхней его части для водовмещающих песков (пре-

имущественно – средней крупности) значения коэффициента фильтрации – 4,8-6,4 м/сут; для крупных песков нижней части комплекса – до 29 м/сут.

Водоупором неоген-четвертичного водоносного комплекса являются плотные карбонатные глины девона, которые не всегда выдержаны, в этой связи возможно наличие гидравлической связи с девонскими горизонтами.

Организация мониторинга ПТЭС «нефтехранилище «Красное Знамя» – геологическая среда»

В основе ведения мониторинга ПТЭС «нефтехранилище «Красное Знамя» – геологическая среда» лежит ее структурно-иерархическая модель, конструируемая на начальном этапе организации мониторинга. Данная модель подробно охарактеризована в работе [1]. Стадия работ на исследуемом объекте отвечает стадии начальной организации мониторинга. Ранее мониторинговые работы на объекте не проводились. Из наблюдательных пунктов имеются четыре наблюдательные и две водозаборные скважины, используемые для технических целей, на которых ранее проводились лишь разовые наблюдения. Рекомендуемая структура сети мониторинга базируется на предложенной методике организации мониторинга ПТЭС [2].

Техногенным объектом является предприятие-хранилище нефтепродуктов. *Защищаемыми объектами*, которые могут быть подвержены техногенному влиянию предприятия, являются: Воронежское водохранилище, река Усманка, ведомственные водозаборы предприятий «Дрожжи» и «Воронежстальмост», централизованный городской водозабор № 9, подземные воды юго-западной части с. Отрадное, используемые для водоснабжения местным населением с помощью колодцев. Выделенные защищаемые объекты определяют пространственные границы данной ПТЭС.

Следуя алгоритму организации и ведения мониторинга ПТЭС [2], проводим операцию по определению

совокупности векторов мониторинга и их характеристике. Для исследуемой ПТЭС рекомендуются следующие векторы мониторинга (рис. 1-3):

Вектор мониторинга А: «предприятие → Воронежское водохранилище»;

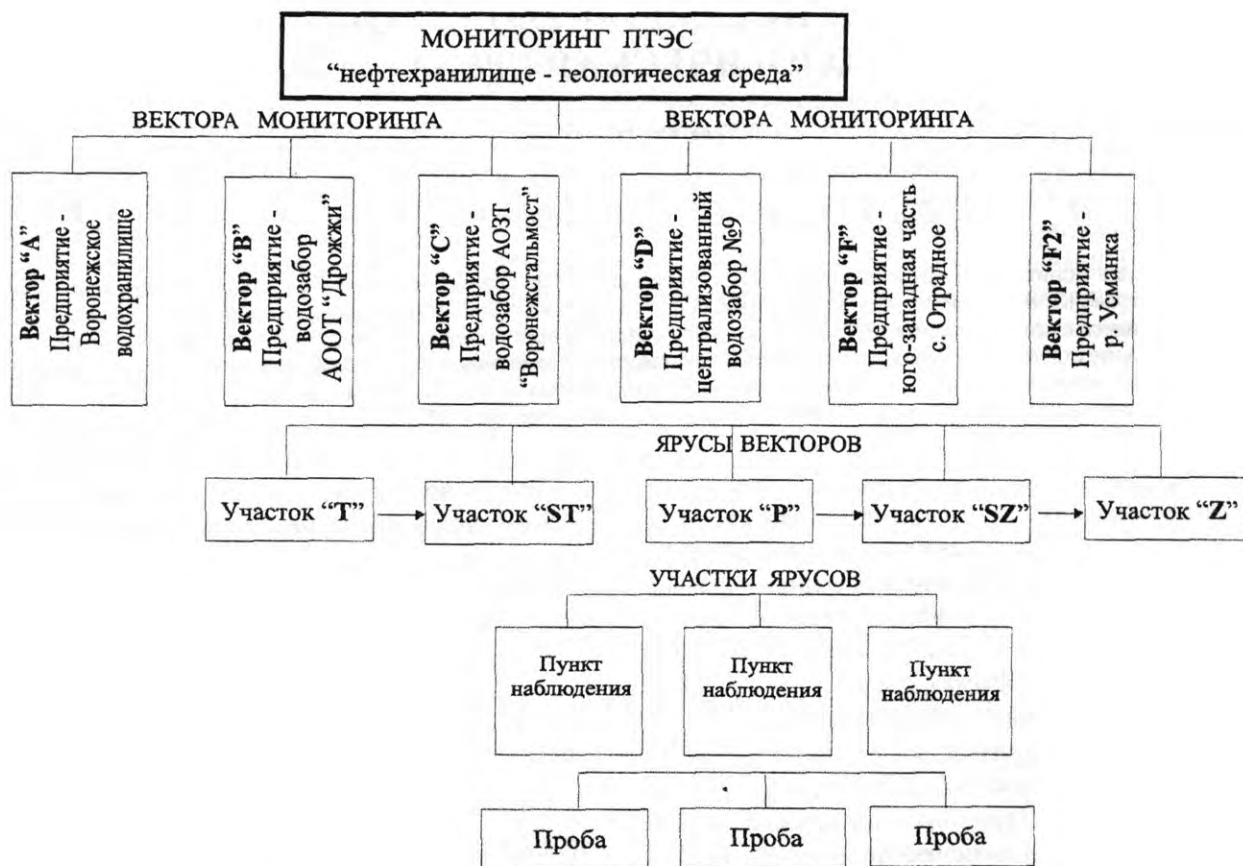


Рис. 1. Принципиальная модель структурной организации мониторинга ПТЭС «Красное Знамя» – геологическая среда»

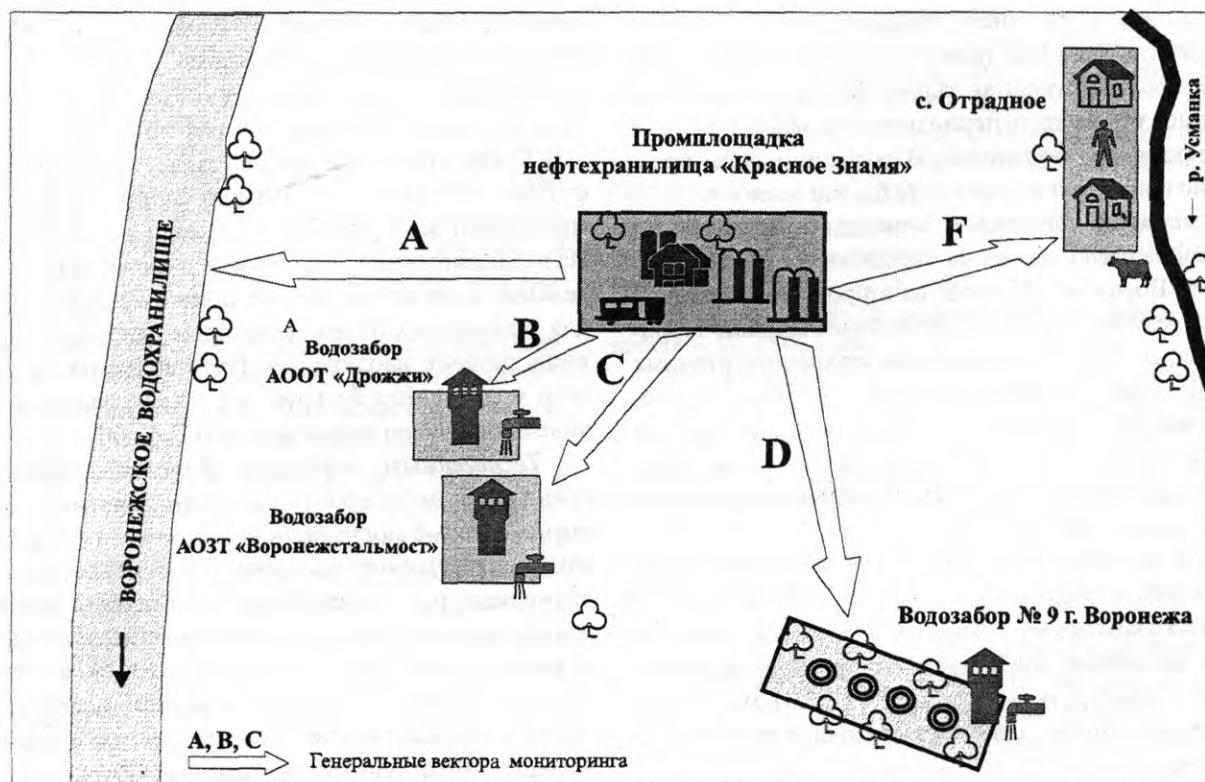


Рис. 2. Модель ПТЭС «Красное Знамя» – геологическая среда» в граничных объектах и генеральные вектора мониторинга

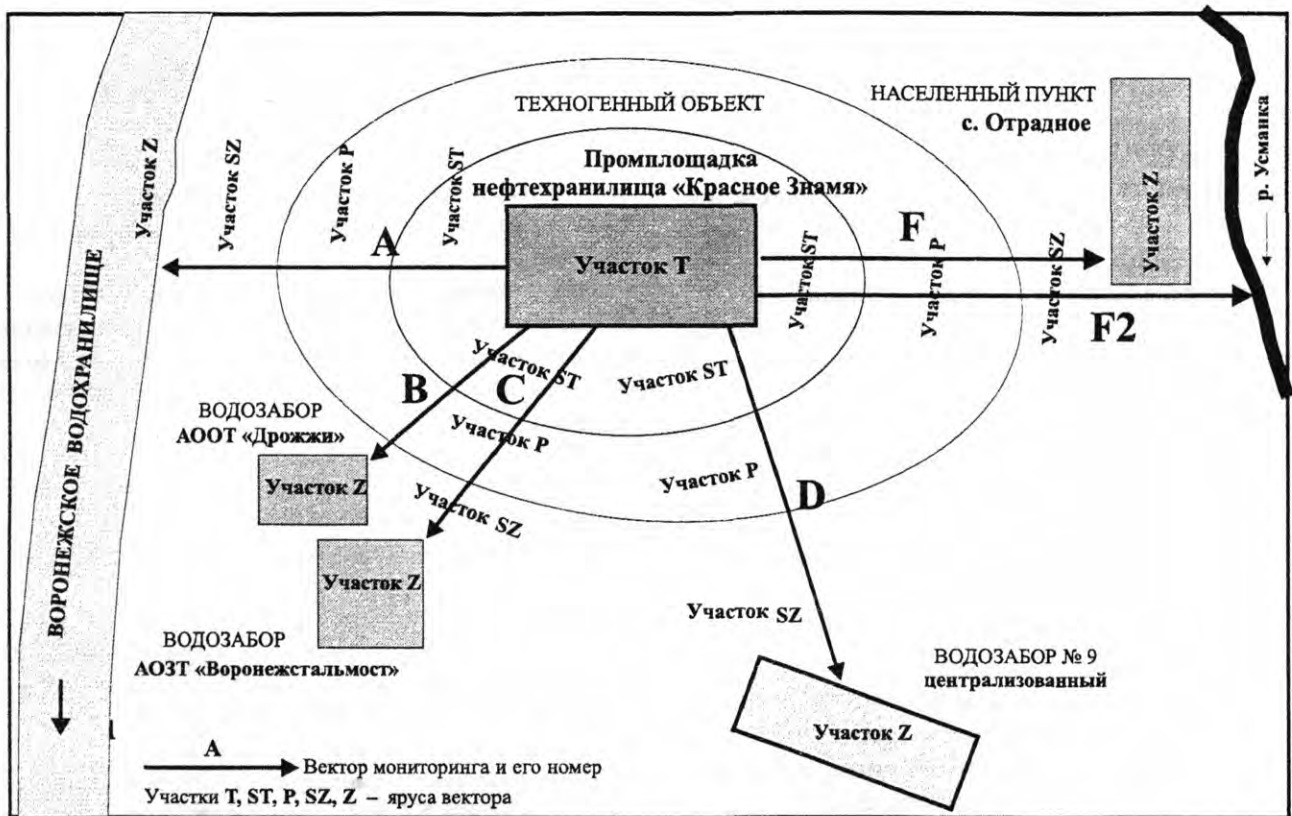


Рис. 3. Принципиальная схема структуры мониторинга ПТЭС «Красное Знамя» – геологическая среда»

Вектор мониторинга В: «предприятие → водозабор АООТ «Дрожжи»;

Вектор мониторинга С: «предприятие → водозабор АОЗТ «Воронежстальмост»;

Вектор мониторинга D: «предприятие → централизованный водозабор № 9»;

Вектор мониторинга F: «предприятие → юго-западная часть с. Отрадное».

Таким образом, выделено пять генеральных линий мониторинга, по которым должен проводиться контроль (вектор «предприятие → р. Усманка» совпадает по ориентировке с вектором F). При этом следует отметить, что наряду с основными линиями контроля могут иметь место и дополнительные, со своей ориентировкой, зависящей от решения специальных задач исследования. Однако устойчивость системы будет оцениваться по генеральным векторам мониторинга.

Прежде чем перейти к характеристике векторов наблюдения, необходимо определить *прагматическую модель* данной ПТЭС. Установление гомеостатических пределов для данной ПТЭС определяется характером техногенного объекта и результатами предварительной оценки изменения геологической среды исследуемой территории. Предварительная оценка изменений состояния грунтовой толщи и подземных вод территории нефтехранилища «Красное Знамя» позволяет определить в качестве основного процесса, нарушающего устойчивость ПТЭС, – *процесс загрязнения* [1].

С экологической точки зрения, основным направлением контроля является химический состав. В частности, наблюдения прошлых лет показали, что загряз-

няющими компонентами на исследуемой территории являются нефтепродукты и свинец (полный химический анализ в процессе предшествующих работ не выполнялся). Наибольшая площадь загрязнения выделяется в подземных водах по нефтепродуктам.

Таким образом, в качестве основных гомеостатических показателей для рассматриваемой ПТЭС должны выступать концентрации нефтепродуктов, а также традиционные показатели минерализации, жесткости и окисляемости. Уровень гомеостатических показателей должен соответствовать предельно допустимым концентрациям, рекомендуемым нормативными документами (ГОСТ, СанПиН), если не предусмотрены специальные условия.

По СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода» предельнодопустимые концентрации нефтепродуктов – 0,1 мг/дм³, свинца – 0,03 мг/дм³, минерализация – 1 г/дм³; жесткость общая – 10 мг*экв/дм³, окисляемость перманганатная – 5 мг/дм³.

Характеристика векторов мониторинга

Вектор мониторинга А

1. Наименование вектора – Вектор А.
2. Направленность вектора: нефтехранилище → Воронежское водохранилище.
3. Протяженность вектора – 3-3,5 км.
4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент имеются наблюдательные пункты, отвечающие ярусам Т и ST (участок прямого техногенного

влияния и участок, смежный с ним). Факторы выделения границ – техногенный, геоморфологический, гидродинамический, литологический, стратиграфический, геометрическая пропорциональность. Отсутствуют ярусы Р (промежуточный участок), Z (защищаемый участок) и SZ (участок, смежный с защищаемым). Учитывая важность данного объекта для города, присутствие данных ярусов в векторе обязательно (минимально – SZ и Z).

5. Характеристика элементов векторной оси.

Участок Т: подземные воды неоген-четвертичного комплекса в пределах контура промплощадки предприятия.

Участок ST: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к территории промплощадки с запада.

Участок SZ: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к Воронежскому водохранилищу (район дамбы Чернавского моста).

Участок Z: воды Воронежского водохранилища (район дамбы Чернавского моста).

6. Наблюдательные пункты (рис. 4).

Участок Т характеризуется наблюдательными скважинами № 2, 3 и 5, предназначенными для контроля уровня и химического состава подземных вод верхнечетвертичного горизонта (верхняя зона) и водозаборными скважинами В1 и В2, предназначенными для противопожарных целей и позволяющими контролировать химсостав неогенового горизонта. Существует необходимость в дополнительном обустройстве сква-

жины на верхнедевонский водоносный горизонт, залегающий под неоген-четвертичным и гидравлически с ним связанный (вертикальный вектор).

Участок ST характеризуется наблюдательной скважиной № 4, предназначенной для контроля уровня и химического состава подземных вод верхней зоны неоген-четвертичного комплекса. Дополнительно необходима скважина на нижнюю зону комплекса (неогеновый горизонт).

На участке Р необходимы две наблюдательные скважины для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна скважина на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке SZ необходимы две наблюдательные скважины для контроля уровня и химического состава подземных вод верхней и нижней зоны неоген-четвертичного комплекса (одна скважина на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке Z необходим пункт контроля химического состава вод Воронежского водохранилища. Предпочтительнее иметь два или даже три пункта, так как водохранилище в левобережной части района Чернавского моста разделено дамбами на участки.

Комментарий: размещение наблюдательных пунктов на участках SZ и Z следует определять с учетом промышленно-транспортной инфраструктуры, сложившейся в данном районе города, для исключения ошибок в оценке источника загрязнения.

7. Основной вид связи между элементами вектора – гидравлический, предопределен гидродинамикой потока



Рис. 4. Оптимизация модели ПТЭС "Красное Знамя" – геологическая среда» и структуры сети ее мониторинга

подземных вод и проницаемостью пород; основное направление потока – от предприятия к водохранилищу.

Нефтехранилище → подземные воды участка Т: вид связи – инфильтрация техногенных продуктов. Воды участка Т → воды участка ST: вид связи – диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка ST → воды участка SZ: вид связи – диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка SZ → водохранилище: вид связи – естественное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: *техногенное загрязнение подземных вод нефтепродуктами*.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: *наличие утечек нефтепродукции*.

10. Концентрации загрязняющих компонентов (и общие физико-химические показатели) в структурных элементах вектора относительно ПДК.

Участок Т: Скважина № 2 (нефтеналивная эстакада) – нефтепродукты – 500 ПДК; скважина № 5 (резервуары-хранилища) – нефтепродукты – 100 ПДК, свинец – 5 ПДК; скважина № 3 – (испарительный бассейн) нефтепродукты – 2 ПДК, свинец – 1 ПДК; скважины В1 и В2 – нефтепродукты – 2 ПДК.

Участок ST: нефтепродукты – 1,5 ПДК, свинец – 1 ПДК.

Участок Р: нет данных.

Участок SZ: нет данных.

Участок Z: нет данных.

11. Гомеостатические границы. Определяются нормативными документами (ГОСТ, СанПиН). На настоящий момент времени *вектор А* по ярусам характеризуется:

Ярус Z (защищаемый объект) – нет данных.

Ярус SZ – нет данных.

12. Наблюдается миграция нефтепродуктов в сторону защищаемого объекта.

13. Прогнозные оценки ранее не выполнялись. На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего соединения – нефтепродуктов.

14. Рекомендуемые мероприятия: организация сети мониторинга и осуществление непрерывного контроля на наблюдательных пунктах, упорядочение технологического режима эксплуатации резервуаров-нефтехранилищ и сливо-наливных сооружений.

Вектор мониторинга В

1. Наименование вектора – Вектор В.

2. Направленность вектора: нефтехранилище → водозабор АООТ «Дрожжи».

3. Протяженность вектора – 0,75 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент имеются наблюдательные пункты, отвечающие ярусу Т. Факторы выделения границ – техногенный, геоморфологический, гидродинамический, литологический, геометрическая пропорциональность. Отсутствуют ярусы ST, Р, SZ и Z. Контроль данных ярусов минимально необходим на участках ST, SZ и Z.

5. Характеристика элементов векторной оси.

Участок Т: подземные воды неоген-четвертичного комплекса в пределах контура промплощадки предприятия.

Участок ST: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к территории промплощадки с запада.

Участок SZ: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к водозаборным сооружениям АООТ «Дрожжи».

Участок Z: подземные воды водозабора АООТ «Дрожжи».

6. Наблюдательные пункты (рис. 4).

Участок Т характеризуется наблюдательными пунктами, охарактеризованными по вектору А.

На участке ST необходимо строительство наблюдательных скважин для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна – на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке SZ необходимо строительство наблюдательных скважин для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна – на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке Z необходим контроль химического состава подземных вод водозаборных скважин.

Комментарий: учитывая финансовые сложности, возникающие у предприятия при строительстве наблюдательных скважин, рекомендуется назначать контрольные пункты не по всем ярусам всех выделенных векторов, а с учетом особенностей миграции загрязняющих компонентов и характера защищаемых объектов.

7. Основной вид связи между элементами вектора – гидравлический, предопределен гидродинамикой потока подземных вод и проницаемостью пород; направление потока – от предприятия к водозаборным сооружениям АООТ «Дрожжи».

Нефтехранилище → подземные воды участка Т: вид связи – инфильтрация техногенных продуктов. Воды участка Т → воды участка ST: вид связи – диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка ST → воды участка SZ: вид связи – диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка SZ → водозабор АООТ «Дрожжи»: вид связи – искусственное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: *техногенное загрязнение подземных вод нефтепродуктами*.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: *наличие утечек нефтепродукции*.

10. Концентрации загрязняющих компонентов (и общие физико-химические показатели) в структурных элементах вектора относительно ПДК.

Участок Т: Скважина № 2, нефтепродукты – 500 ПДК; скважина № 5, нефтепродукты – 100 ПДК, свинец – 5 ПДК; скважина № 3, нефтепродукты – 2 ПДК, свинец – 1 ПДК; скважины В1 и В2 – нефтепродукты – 2 ПДК.

Участок ST: нет данных.

Участок P: нет данных.

Участок SZ: нет данных.

Участок Z: нефтепродукты – 2 ПДК (резервная скважина, 1996 год), аммоний – 5 ПДК (источник неизвестен).

11. Гомеостатические границы. Определяются нормативными документами (ГОСТ, СанПиН). На настоящий момент времени **вектор В** по ярусам характеризуется:

Ярус Z (защищаемый объект) – *неустойчивое* положение по нефтепродуктам в резервной скважине.

Ярус SZ – нет данных.

12. Наблюдается миграция нефтепродуктов в сторону защищаемого объекта.

13. Прогнозные оценки ранее не выполнялись. На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего соединения – нефтепродуктов.

14. Рекомендуемые мероприятия: организация сети мониторинга и осуществление непрерывного контроля на наблюдательных пунктах, упорядочение технологического режима эксплуатации резервуаров-нефтехранилищ и сливо-наливных сооружений.

Вектор мониторинга С

1. Наименование вектора – Вектор С.

2. Направленность вектора: нефтехранилище → водозабор АОЗТ «Воронежстальмост».

3. Протяженность вектора – 1,5 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент имеются наблюдательные пункты, отвечающие лишь ярусу Т. Факторы выделения границ – техногенный, геоморфологический, гидродинамический, литологический, геометрическая пропорциональность. Отсутствуют ярусы ST, P, SZ и Z. Контроль данных ярусов минимально необходим на участках ST, SZ и Z.

5. Характеристика элементов векторной оси.

Участок Т: подземные воды неоген-четвертичного комплекса в пределах контура промплощадки предприятия.

Участок ST: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к территории промплощадки с юго-запада.

Участок SZ: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к водозаборным сооружениям АОЗТ «Воронежстальмост».

Участок Z: подземные воды водозабора АОЗТ «Воронежстальмост».

6. Наблюдательные пункты (рис. 4).

Участок Т характеризуется пунктами, описанными при характеристике вектора А.

На участке ST необходимо строительство двух наблюдательных скважин для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна – на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке SZ (или P) необходимо строительство двух наблюдательных скважин для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна – на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке Z необходим контроль химического состава подземных вод водозаборных скважин.

7. Основной вид связи между элементами вектора – гидравлический, предопределен гидродинамикой потока подземных вод и проницаемостью пород; направление потока (гидродисперсия и искусственное дренирование) – от предприятия к водозаборным сооружениям АОЗТ «Воронежстальмост».

Нефтехранилище → подземные воды участка Т: вид связи – инфильтрация техногенных продуктов. Воды участка Т → воды участка ST: вид связи – диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка ST → воды участка SZ: вид связи – диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка SZ → водозабор предприятия: вид связи – искусственное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: *техногенное загрязнение подземных вод нефтепродуктами*.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: *наличие утечек нефтепродукции*.

10. Концентрации загрязняющих компонентов (и общие физико-химические показатели) в структурных элементах вектора относительно ПДК.

Участок Т: Скважина № 2, нефтепродукты – 500 ПДК; скважина № 5, нефтепродукты – 100 ПДК, свинец – 5 ПДК; скважина № 3, нефтепродукты – 2 ПДК, свинец – 1 ПДК; скважины В1 и В2 – нефтепродукты – 2 ПДК.

Участок ST: нет данных.

Участок P: нет данных.

Участок SZ: нет данных.

Участок Z: нет данных.

11. Гомеостатические границы. Определяются нормативными документами (ГОСТ, СанПиН). На настоящий момент времени **вектор С** по ярусам характеризуется:

Ярус Z (защищаемый объект) – нет данных.

Ярус SZ – нет данных.

12. Возможна миграция нефтепродуктов в сторону защищаемого объекта.

13. На настоящий момент времени необходим прогноз миграции основного загрязняющего соединения – нефтепродуктов.

14. Рекомендуемые мероприятия: организация сети мониторинга и осуществление непрерывного контроля на наблюдательных пунктах, упорядочение технологического режима эксплуатации резервуаров-нефтехранилищ и сливо-наливных сооружений.

Вектор мониторинга D

1. Наименование вектора – Вектор D.

2. Направленность вектора: нефтехранилище → централизованный водозабор № 9.

3. Протяженность вектора – 4-4,5 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент имеются наблюдательные пункты, отвечающие лишь ярусам Т и Z (последний контролируется ФГУП «Воронежгеология»). Факторы выделения границ – техногенный, геоморфологический, гидродинамический, литологический, геометрическая пропорциональность. Отсутствуют ярусы ST, P, SZ. Контроль данных ярусов необходим в связи с особой ответственностью защищаемого объекта (питьевое водоснабжение города).

5. Характеристика элементов векторной оси.

Участок Т: подземные воды неоген-четвертичного комплекса в пределах контура промплощадки предприятия.

Участок ST: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к территории промплощадки с юга.

Участок SZ: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к водозабору № 9.

Участок Z: подземные воды водозабора №9.

Комментарий: в случае выявления загрязнения подземных вод верхнедевонского горизонта, на участке SZ необходимо контролировать и воды данного горизонта.

6. Наблюдательные пункты (рис. 4).

Участок Т характеризуется наблюдательными пунктами, охарактеризованными по вектору А.

На участке ST необходимо строительство двух наблюдательных скважин для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна – на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

В случае загрязнения участка ST необходим контроль участка P (количество пунктов зависит от состояния горизонта).

На участке SZ необходимо строительство двух наблюдательных скважин для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна – на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке Z контролируется уровень и химический состав подземных вод эксплуатационных скважин водозабора № 9 (контроль осуществляет ФГУП «Воронежгеология»).

7. Основной вид связи между элементами вектора – гидравлический, предопределен возможной гидродисперсией и искусственным дренированием (по данным ФГУП «Воронежгеология» территория влияния предприятия попадает в область питания водозабора № 9).

Нефтехранилище → подземные воды участка Т: вид связи – инфильтрация техногенных продуктов. Воды участка Т → воды участка ST: вид связи – гидродисперсия, диффузионный массоперенос. Воды участка ST → воды участка SZ: вид связи – диффузионный массоперенос, искусственное дренирование. Воды участка SZ → водозабор № 9: вид связи – искусственное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: **техногенное загрязнение подземных вод нефтепродуктами.**

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: **наличие утечек нефтепродукции.**

10. Концентрации загрязняющих компонентов (и общие физико-химические показатели) в структурных элементах вектора относительно ПДК.

Участок Т: Скважина № 2, нефтепродукты – 500 ПДК; скважина № 5, нефтепродукты – 100 ПДК, свинец – 5 ПДК; скважина № 3, нефтепродукты – 2 ПДК, свинец – 1 ПДК; скважины В1 и В2 – нефтепродукты – 2 ПДК.

Участок ST: нет данных.

Участок P: нет данных.

Участок SZ: нет данных.

Участок Z: норма.

11. Гомеостатические границы. Определяются нормативными документами (ГОСТ, СанПиН). На настоящий момент времени **вектор D** по ярусам характеризуется:

Ярус Z (защищаемый объект) – устойчивое положение.

Ярус SZ – нет данных.

12. Возможна миграция нефтепродуктов в сторону защищаемого объекта.

13. Прогнозные оценки ранее не выполнялись. На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего соединения – нефтепродуктов.

14. Рекомендуемые мероприятия: организация сети мониторинга и осуществление непрерывного контроля на наблюдательных пунктах, упорядочение технологического режима эксплуатации резервуаров-нефтехранилищ и сливо-наливных сооружений.

Вектор мониторинга F

1. Наименование вектора – Вектор F.

2. Направленность вектора: нефтехранилище → юго-западная часть с. Отрадное.

3. Протяженность вектора – 2-2,5 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент имеются наблюдательные пункты, отвечающие лишь ярусу Т. Факторы выделения границ – техногенный, геоморфологический, литологический, геометрическая пропорциональность. Отсутствуют ярусы ST, P, SZ, Z. В пределах данного вектора как минимум необходим контроль ярусов ST (или P) и Z в связи с ответственностью защищаемого объекта (питьевое водоснабжение села).

Комментарий. Данный вектор может и не иметь статуса генерального в случае отсутствия миграции нефтепродуктов в этом направлении, что может обуславливаться геоморфологическим положением техногенного объекта (основное направление потока подземных вод обусловлено дренирующим воздействием р. Воронеж) и перенос вещества в направлении с. Отрадное потенциально возможен лишь за счет диффузии, чему может способствовать подпертый режим фильтрации в пределах водохранилища и низкие градиенты напора подземных вод).

5. Характеристика элементов векторной оси.

Участок Т: подземные воды неоген-четвертичного комплекса в пределах контура промплощадки предприятия.

Участок ST: подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к территории промплощадки с востока.

Участок SZ (или P): подземные воды неоген-четвертичного комплекса на участке, примыкающем к с. Отрадное (преимущественно воды верхнечетвертичного горизонта).

Участок Z: подземные воды четвертичного горизонта в пределах с. Отрадное.

Комментарий: в случае выявления загрязнения подземных вод в состав вектора в качестве защищаемого объекта должна входить р. Усманка (в этом случае вектор продляется до реки и получает номер F2 с протяженностью в 3 км).

6. Наблюдательные пункты (рис. 4).

Участок Т характеризуется наблюдательными пунктами, охарактеризованными по вектору А.

На участке ST необходимо строительство двух наблюдательных скважин для контроля уровня и химического состава подземных вод неоген-четвертичного комплекса (одна – на верхнечетвертичный горизонт, другая – на неогеновый).

На участке SZ (или P) при наличии загрязнения участка ST необходимо строительство наблюдательной скважины для контроля уровня и химического состава подземных вод верхней зоны неоген-четвертичного комплекса.

На участке Z необходимо контролировать уровень и химический состав подземных вод верхнечетвертичного горизонта (колодцы в юго-западной части с. Отрадное).

7. Основной вид связи между элементами вектора – гидравлический, потенциально предопределяется диффузией вещества.

Нефтехранилище → подземные воды участка Т: вид связи – инфильтрация техногенных продуктов. Воды участка Т → воды участка ST: вид связи – диффузионный массоперенос. Воды участка ST → воды участка SZ: вид связи – диффузионный массоперенос. Воды участка SZ → воды участка Z: вид связи – диффузия и искусственное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: возможное техногенное загрязнение подземных вод нефтепродуктами.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: **наличие утечек нефтепродукции.**

10. Концентрации загрязняющих компонентов (и общие физико-химические показатели) в структурных элементах вектора относительно ПДК.

Участок Т: Скважина №2, нефтепродукты – 500 ПДК; скважина № 5, нефтепродукты – 100 ПДК, свинец – 5 ПДК; скважина № 3, нефтепродукты – 2 ПДК, свинец – 1 ПДК; скважины В1 и В2 – нефтепродукты – 2 ПДК.

Участок ST: нет данных.

Участок P: нет данных.

Участок SZ: нет данных.

Участок Z: нет данных.

11. Гомеостатические границы. Определяются нормативными документами (ГОСТ, СанПиН). На настоящий момент времени **вектор F** по ярусам характеризуется:

Ярус Z (защищаемый объект) – нет данных.

Ярус SZ – нет данных.

12. Возможна миграция нефтепродуктов в сторону защищаемого объекта.

13. Прогнозные оценки ранее не выполнялись. На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего соединения – нефтепродуктов.

14. Рекомендуемые мероприятия: организация сети мониторинга и осуществление непрерывного контроля на наблюдательных пунктах, упорядочение технологического режима эксплуатации резервуаров-нефтехранилищ и сливо-наливных сооружений.

Помимо генеральных пунктов контроля в сеть мониторинга данной ПТЭС могут входить и вспомогательные наблюдательные пункты, предназначенные для оценки фонового (природного) состояния подземных вод, для выявления площади и уровня загрязнения и т.д. Однако ядром в проведении мониторинга ПТЭС будет являться **генеральная сеть наблюдений, функционирующая в пределах выбранных векторов мониторинга** (рис. 4).

Оптимальное функционирование системы мониторинга исследуемой ПТЭС представляется следующим образом.

На основе структурно-иерархической модели исследуемой ПТЭС выстраивается структура мониторинга, определяются ее генеральные вектора. По мере получения первичных данных проводится корректировка элементного состава генеральных линий мониторинга, модель системы принимает оптимальную структуру. Ведение мониторинга заключается в проведении перманентного контроля и анализа состояний элементов системы по векторным линиям, в построении прогнозных моделей их ожидаемых состояний, в оценке устойчивости системы относительно ее прагматической модели. В случае нарушения устойчивости какого-либо вектора системы (реального или ожидаемого по результатам прогноза) немедленно реализуются управленческие мероприятия по возврату системы в устойчивое положение.

Для накопления и обработки информации, получаемой по результатам контроля, для ее подготовки к прогнозируемому математическому моделированию и проведению моделирования, на всем протяжении мониторинга должны широко использоваться информационные компьютерные технологии. Базы данных, лежащие в их основе, должны строиться в соответствии с определенной экспертами структурно-иерархической моделью ПТЭС и структурой ее мониторинга. Для ясности и наглядности полученная информация представляется картографическими моделями состояния системы.

Нормальным функционированием системы будет являться устойчивость ее граничных элементов – защищаемых объектов. **Оптимальным функционированием** системы будет являться устойчивость и учас-

тков, смежных с защищаемыми объектами (ярусов SZ генеральных векторов мониторинга), особенно если их устойчивость прогнозируется на будущее.

Минимальная задача специалистов, осуществляющих мониторинг ПТЭС, – обеспечение условий нормального функционирования ПТЭС.

Таким образом определена структура сети мониторинга ПТЭС «нефтехранилище “Красное Знамя” – геологическая среда».

Следующий этап – определение частоты оценок состояний элементов ПТЭС (отбор проб на химанализ, замер уровней подземных вод, замер температуры и т.д.) и параметры, по которым будут оцениваться их состояния.

На основании предшествующих наблюдений и характера самого предприятия в качестве основных параметров, характеризующих состояние системы, рекомендуется принять: концентрации нефтепродуктов, свинца; для оценки условий их миграции – показатели окислительно-восстановительного потенциала, температуру, рН, показатели минерализации и окисляемости; для определения гидрохимических типов и направленности их трансформации – типобразующие макрокомпоненты (гидрокарбонаты, хлор, сульфаты, натрий, кальций, магний); для выявления источников специфического техногенного влияния – соединения азота (превышение аммония фиксируется в скважинах АООТ «Дрожжи»), из микрокомпонентов – марганец, железо (имеет место загрязнение данными компонентами в районе «Воронежнефтепродукт»). Периодически рекомендуется проводить полный химический анализ подземных и поверхностных вод.

Глубину установки фильтров в четвертичном водоносном горизонте следует определять исходя из физико-химических особенностей загрязнителя. Нефтепродукты имеют меньшую плотность, чем у воды, и поэтому концентрируются на поверхности подземных вод. При этом, они могут находиться в трех фазах: в виде линзы чистого нефтепродукта на поверхности грунтовых вод, в эмульгированно-пленочной форме в верхней части горизонта и в форме истинного раствора по всей мощности водоносного комплекса. Рабочая часть фильтра наблюдательной скважины, оборудуемой на верхнюю зону четвертичного горизонта, должна захватывать и зону аэрации, чтобы фиксировать миграцию нефтепродуктов при колебании уровня грунтовых вод.

Частоту контроля генеральных пунктов рекомендуется определить – 4 раза в год (по сезонам года); по отдельным пунктам наблюдения, имеющим благоприятные характеристики или выраженную стабильность своего состояния, можно ограничиться 2-3 наблюдениями в год. Вспомогательные пункты наблюдений можно наблюдать 1-4 раза в год в зависимости от решаемых с их помощью задач.

Такова схема функционирования рекомендуемой системы мониторинга ПТЭС «нефтехранилище “Красное Знамя” – геологическая среда». При этом необходи-

мо добавить, что наряду с собственно мониторинговыми работами рекомендуется проведение специальных научных исследований, позволяющих лучше понимать происходящие в системе процессы для оптимизации контроля, прогноза и управления ее состоянием.

Важной особенностью в оптимизации контроля миграции нефтепродуктов в подземных водах при организации мониторинга является возможность предварительной косвенной оценки очага нефтепродуктов в водоносном горизонте. Выявление контуров загрязнения возможно проводить по методу газовой съемки (методики ВСЕГИНГЕО, РОСГЕО). Физической основой применения данного метода является формирование в грунтах зоны аэрации и в грунтовых водах аномально высоких концентраций углеводородных газов и паров в пределах очага загрязнения нефтепродуктами, позволяющих идентифицировать контуры подземных линз нефтепродуктов и очагов углеводородного загрязнения подземных вод [3]. Методика газовой съемки предусматривает заверку аномалий ограниченным объемом буровых работ. Заверочные скважины, как правило, совмещают с бурением разведочных и наблюдательных скважин.

Таким образом, предварительное оконтуривание очага загрязнения подземных вод нефтепродуктами позволит оптимизировать размещение наблюдательных пунктов сети мониторинга. Пункты опробования подпочвенного воздуха при газовой съемке рекомендуется назначать по выбранным векторам мониторинга (в рамках общей сеточной сети опробования).

Дополнительно необходимо проведение исследовательских работ по оценке фильтрационных параметров водоносных горизонтов, скорости движения подземных вод в целях оптимизации прогноза и управления, в случае определения реабилитационных мероприятий по ликвидации очага нефтепродуктов посредством откачки из грунтовой толщи. Возможна постановка работ по оценке самоочищающей способности геологической среды по отношению к нефтепродуктам (сорбция, деструкция, биodeградация), по оценке скорости вертикальной миграции нефтепродуктов и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинюков, Ю.М. Структурно-иерархическая модель природно-технической экосистемы «нефтехранилище “Красное Знамя” – природная среда» (г. Воронеж) / Ю.М. Зинюков // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Геология. – 2004. – № 2. – С. 181-189.
2. Зинюков, Ю.М. Методические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей / Ю.М. Зинюков // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Геология. – 2002. – № 13. – С. 235-242.
3. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод / сост. В.М. Гольдберг, С.Г. Мелькановицкая, В.М. Лукьянчиков. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1990. – 76 с.