

## ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ОАО «МИНУДОБРЕНИЯ» — ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА» (Г. РОССОШЬ)

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 «ОАО «Минудобрения» — геологическая среда». Предлагаемая методика опирается на целевое направление контроля, прогноза и управления состоянием ПТЭС.

В основе ведения мониторинга ПТЭС «ОАО «Минудобрения» — геологическая среда» лежит ее структурно-иерархическая модель, конструируемая на начальном этапе организации мониторинга [4]. Лежащие в основе организации мониторинга структурные модели ПТЭС позволяют ответить на основные вопросы, возникающие при постановке мониторинговых работ, а именно: «что наблюдаем?», «где наблюдаем?», «зачем наблюдаем»? Таким образом, остается ответить лишь на последний вопрос: «как наблюдаем?». Что и будет определять технологический процесс проведения мониторинга во временных рамках.

### ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ПТЭС «ОАО «МИНУДОБРЕНИЯ» — ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА»

*Техногенным объектом* является химический комбинат со всей своей инфраструктурой. *Защищаемыми объектами*, которые могут быть подвержены влиянию техногенного объекта являются: река Черная Калитва, водозаборы птицефабрики с. Евстратовка, ТОО «Заречье», ОАО «Придонхимстрой», подземные воды северо-западной части с. Евстратовка, используемые местным населением для водоснабжения с помощью буровых колодцев. Защищаемые объекты определяют пространственные границы данной ПТЭС.

Следуя алгоритму организации и ведения мониторинга ПТЭС [5], проводим первичную операцию

по определению совокупности векторов мониторинга и их характеристике. Для исследуемой нами ПТЭС определены следующие *векторы мониторинга* см. схема «Векторы мониторинга» (рис. 1—3).

Таким образом, выделено пять генеральных линий мониторинга, по которым должен проводиться контроль. При этом следует отметить, что наряду с основными линиями контроля могут иметь место и дополнительные, зависящие от решения специальных задач исследования. Однако общая 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 ПТЭС, на которых уже проводятся (или проводились) режимные наблюдения за состоянием природных (или техногенных) объектов значительно облегчается, так как имеющаяся в распоряжении исследователя информация позволяет акцентировать внимание на существенных параметрах, характеризующих состояние объектов с точки зрения их устойчивости. Так, многолетние режимные наблюдения за грунтовой толщей, подземными и поверхностными водами на территории ОАО «Минудобрения» позволяют определить в качестве основных процессов, нарушающих устойчивость ПТЭС следующие: загрязнение подземных и поверхностных вод, подтопление территории, разуплотнение грунтов. В связи с этим, контролю должны подлежать глубина залегания уровня подземных вод, химический состав подземных и поверхностных вод (а также техногенных), физико-механические характеристики грунтов.

«Векторы мониторинга»

- Вектор мониторинга А: «предприятие → р. Черная Калитва»;
- Вектор мониторинга В: «предприятие → водозабор птицефабрики»;
- Вектор мониторинга С: «предприятие → водозабор ОАО «Придонхимстрой»»;
- Вектор мониторинга D: «предприятие → северо-западная часть с.Евстратовка»;
- Вектор мониторинга F: «предприятие → водозабор ТОО «Заречье»».

С экологической точки зрения, основным направлением контроля является химический состав. В частности, наблюдения прошлых лет показали, что основными загрязняющими компонентами на исследуемой территории являются нитраты, нитриты, аммоний, сульфаты, хлор, натрий. Некоторые из этих компонентов хорошо мигрируют в водной среде в силу своей химической инертности (хлор, нитраты), другие — в силу сложившихся техногенных и геохимических условий среды (аммоний, нитриты, натрий). Наибольшая площадь загрязнения выделяется по аммонию — 8 км<sup>2</sup>. Таким образом, в качестве

основных гомеостатических показателей для рассматриваемой ПТЭС должны выступать концентрации аммония, нитратов, нитритов, хлора, сульфатов, натрия, а также традиционные показатели минерализации, жесткости и окисляемости. Уровень гомеостатических концентраций должен соответствовать рекомендуемым нормативными документами (ГОСТ, СанПиН), если не предусмотрены специальные условия.

По СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода» предельно-допустимые концентрации для указанных компонентов следующие: аммоний — 2,0 мг/дм<sup>3</sup>; нитриты — 3,0 мг/дм<sup>3</sup>; нитраты —

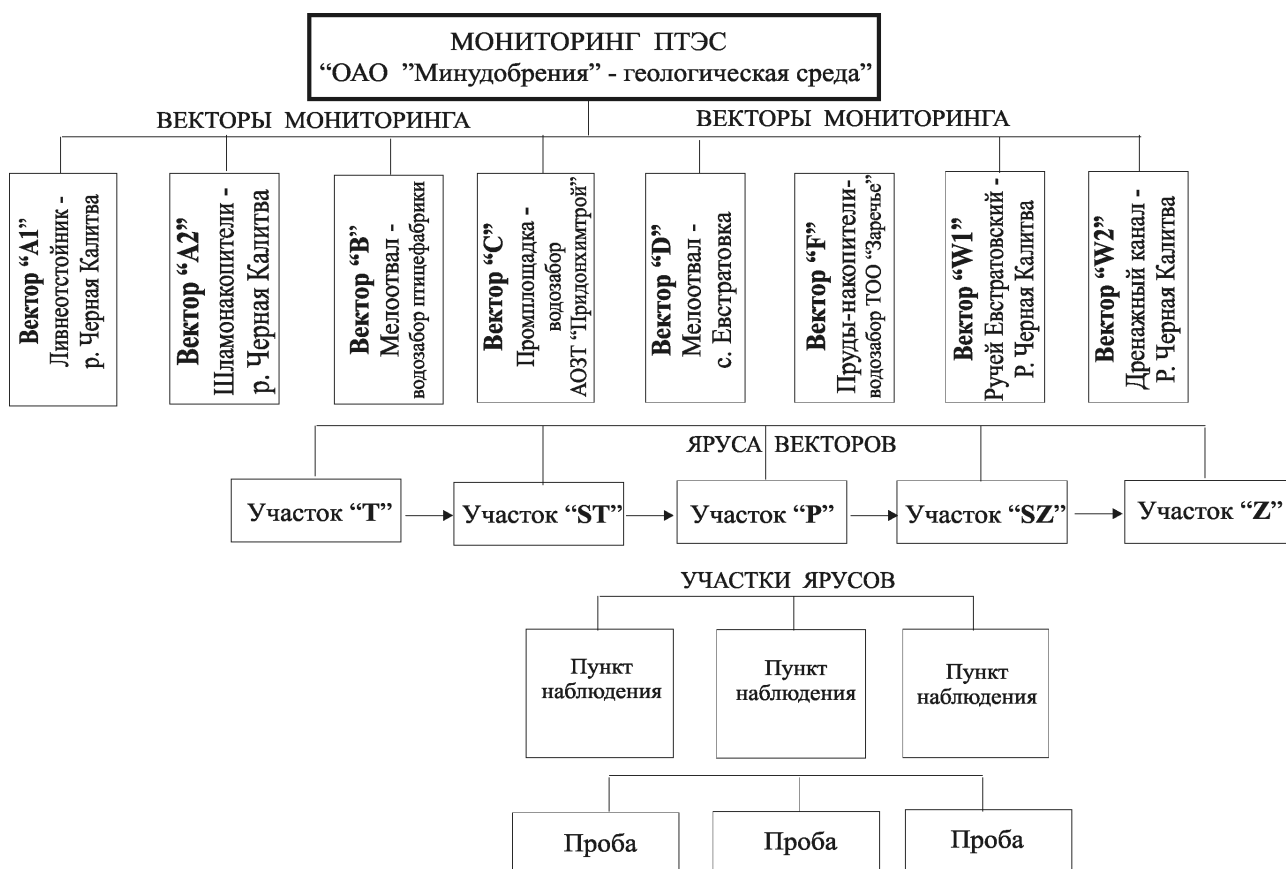


Рис. 1. Принципиальная модель структурной организации мониторинга ПТЭС «ОАО «Минудобрения» — геологическая среда»

45,0 мг/дм<sup>3</sup>; хлор — 350 мг/дм<sup>3</sup>; сульфаты — 500 мг/дм<sup>3</sup>; натрий — 200 мг/дм<sup>3</sup>; минерализация — 1 г/дм<sup>3</sup>; жесткость общая — 10 мг\*экв/дм<sup>3</sup>; окисляемость перманганатная — 5 мг/дм<sup>3</sup>.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕКТОРОВ МОНИТОРИНГА

### ВЕКТОР МОНИТОРИНГА А1

Учитывая протяженность сооружений предприятия по отношению к защищаемому объекту — реке Черная Калитва (также линейно протяженному), данный вектор раскладывается на три вектора А1, А2 и А3 (рис. 2).

1. Наименование вектора — Вектор А1.

2. Направленность вектора: ливнеотстойник → р. Черная Калитва.

3. Протяженность вектора — 250 м (данное сооружение расположено наиболее близко от реки).

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент контролируются четыре участка (яруса) — Т, ST, SZ, Z. Факторы выделения границ — техногенный, литологический, геоморфологический, гидродинамический, геометрический пропорциональность (преимущественный фактор). Отсутствует ярус Р, который, невзирая на

незначительную протяженность вектора, должен присутствовать в силу смены литолого-геоморфологических условий в пределах вектора (в верхней части разреза песчаный состав отложений 1-ой надпойменной террасы сменяется на глинистый состав отложений поймы), а также — в силу высокого уровня загрязнения участка ST.

5. Характеристика элементов векторной оси.

**Участок Т:** подземные воды четвертично-мелового комплекса в пределах контура ливнеотстойника.

**Участок ST:** подземные воды четвертично-мелового комплекса на участке, примыкающем к ливнеотстойнику.

**Участок SZ:** подземные воды четвертично-мелового комплекса на участке, примыкающем к р. Черная Калитва.

**Участок Z:** река Черная Калитва.

6. Наблюдательные пункты (рис. 4).

Участок Т характеризуется наблюдательной скважиной № 21, предназначенной для контроля уровня и химсостава подземных вод верхней зоны мелового горизонта.

Участок ST характеризуется наблюдательными скважинами № 22а (четвертичный горизонт) и № 4н (меловой горизонт). Ведется контроль уровня и химсостава подземных вод.



Рис. 2. Модель ПТЭС «ОАО» Минудобрения — геологическая среда в граничных объектах и генеральные вектора мониторинга

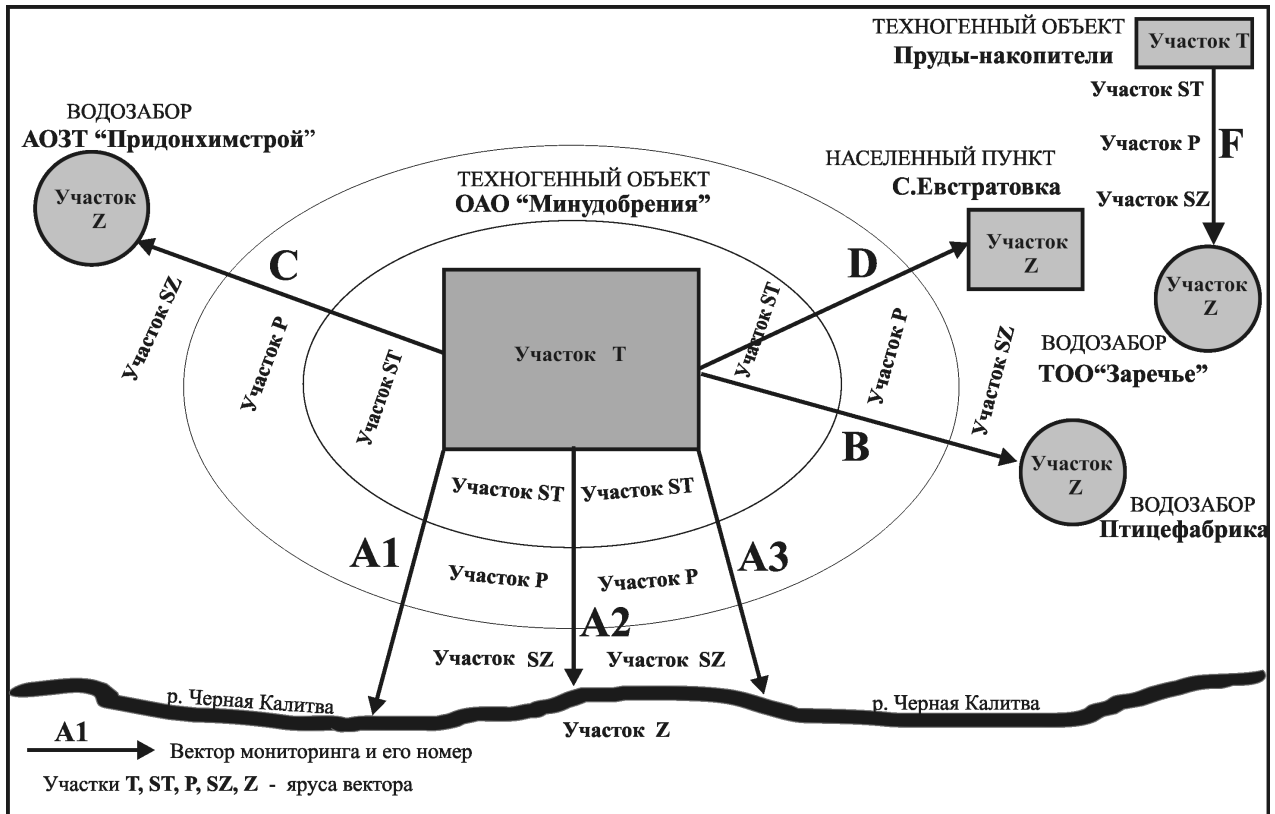


Рис. 3. Принципиальная схема структуры мониторинга ПТЭС «ОАО «Минудобрения» – геологическая среда»

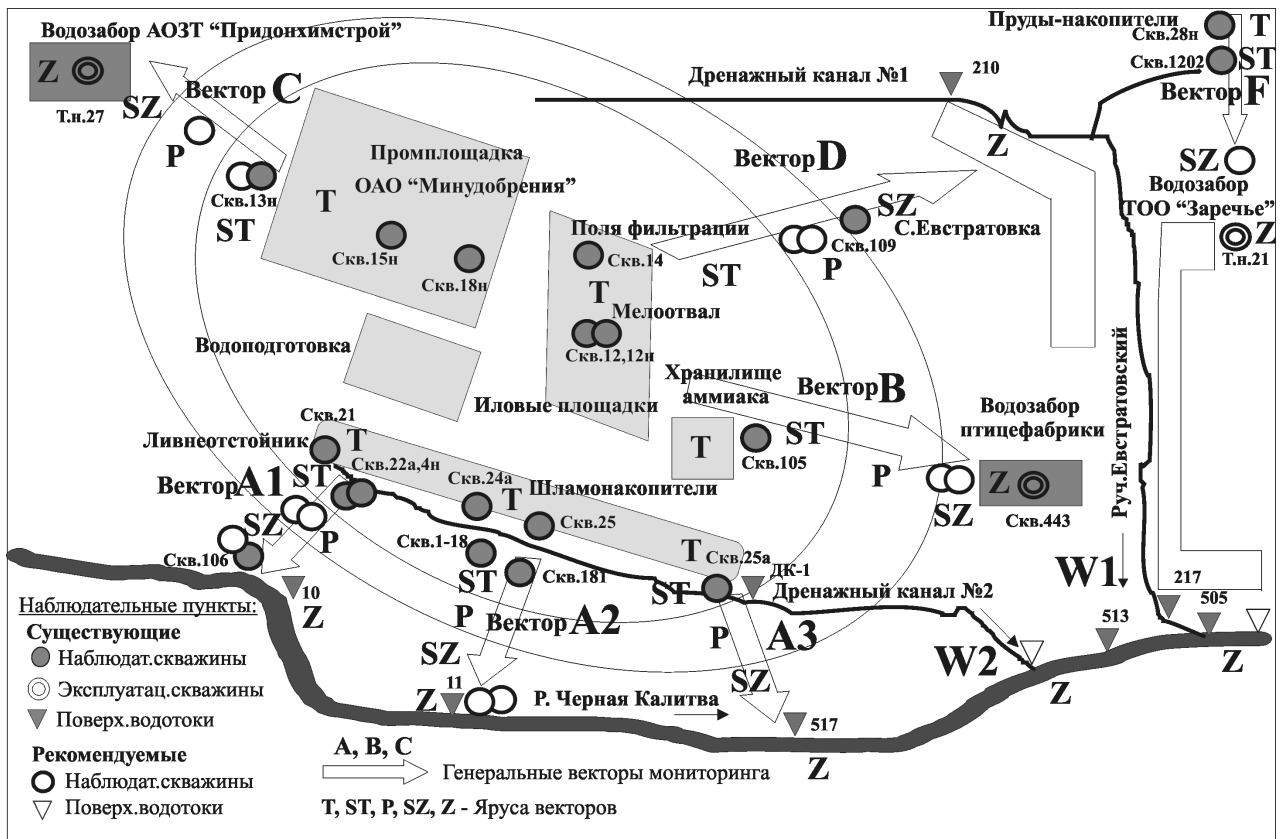


Рис. 4. Оптимизация модели ПТЭС «ОАО «Минудобрения» - геологическая среда» и структуры сети ее мониторинга

Участок SZ характеризуется наблюдательной скважиной № 106, контролирующей уровень и состав подземных вод верхней зоны мелового горизонта.

На данном участке отсутствует пункт контроля за грунтовыми водами современно-четвертичного горизонта, который потенциально имеет более высокий уровень загрязнения.

Участок Z — воды реки Черная Калитва (т.н. 10 — у левого берега). Контроль химсостава реки.

7. Основной вид связи между элементами вектора — гидравлический, предопределен гидродинамикой потока подземных вод и проницаемостью пород; основное направление потока — от предприятия к реке.

Ливнеотстойник → подземные воды участка Т, вид связи — инфильтрация техногенных вод. 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 → река Черная Калитва, вид связи — естественное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: техногенное загрязнение подземных вод нитратами, нитритами, аммонием, сульфатами, хлором, натрием.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: наличие загрязненных сточных вод, нарушение технологического режима эксплуатации ливнеотстойника, недостаточная защищенность днища ливнеотстойника.

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

Участок Т: нитраты — 10—15 ПДК; нитриты — 10—12 ПДК; аммоний — 100 ПДК; сульфаты — 1 ПДК; натрий — 2 ПДК; окисляемость — 3—4 ПДК; минерализация — 2—3 ПДК.

Участок ST: По скв. 22а — нитраты — 100 ПДК; нитриты — 10—14 ПДК; аммоний — 50 ПДК; хлор — 2 ПДК; сульфаты — 4 ПДК; натрий — 10—13 ПДК; окисляемость — 4—5 ПДК; минерализация 10—11 ПДК. По скв. 4н — нитриты — 1,5 ПДК; сульфаты — 1,5 ПДК; хлор — 1,5 ПДК; натрий — 3 ПДК; окисляемость — 3 ПДК; минерализация — 2 ПДК.

Участок SZ: аммоний — 2-4 ПДК; окисляемость — 1 ПДК.

Участок Z: норма.

Комментарий. Более высокий уровень загрязнения на участке ST (скв. 22а) связан с тем, что

данный пункт контролирует более загрязненные грунтовые воды четвертичного возраста, а также с тем, что скв.21 участка Т находится несколько в стороне от основной линии контроля.

11. Гомеостатические границы. Определяются нормативными документами (ГОСТ, СанПиН). На настоящий момент времени вектор А1 по ярусам характеризуется:

Ярус Z (защищаемый объект) — устойчивое положение.

Ярус SZ — неустойчивое положение по содержанию аммония.

12. Наблюдается направленная миграция техногенного аммония в сторону защищаемого объекта.

13. Прогнозные оценки изменения гидродинамической и гидрогеохимической ситуации выполнялись в конце 80-х (на основе статистических моделей) и в начале 90-х годов (на основе методов структурной идентификации процесса массопереноса нитратов [1]).

На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего компонента — аммония.

14. Рекомендуемые мероприятия: продолжение контроля, упорядочение технологического режима работы ливнеотстойника, предотвращение поступлений в ливнеотстойник сточных вод с высоким уровнем загрязнения, замена противофильтрационного экрана в днище ливнеотстойника.

#### ВЕКТОР МОНИТОРИНГА А2

1. Наименование вектора — Вектор А2.

2. Направленность вектора: шламонакопители (центральная часть) → р. Черная Калитва.

3. Протяженность вектора — 1 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент контролируются три участка — Т, ST, Z. Отсутствуют ярусы Р и SZ. Учитывая высокий уровень загрязнения подземных вод участка ST, в пределах вектора, как минимум, дополнительно необходимо контролировать ярус SZ. Яруса могут выделяться по литолого-геоморфологическому признаку (надпойменная терраса сменяется поймой, песчаный состав четвертичных отложений сменяется глинистым).

5. Характеристика элементов векторной оси.

**Участок Т:** подземные воды четвертичного горизонта в пределах контура центральной части шламонакопителей.

**Участок ST:** подземные воды четвертично-мелового комплекса на участке, примыкающем к шламонакопителям.

**Участок Z:** река Черная Калитва.

6. Наблюдательные пункты.

Участок Т характеризуется наблюдательными скважинами № 24а и № 25, предназначенными для контроля уровня и химсостава подземных вод верхнечетвертичного горизонта.

Участок ST характеризуется наблюдательными скважинами № 1—18 (четвертичный горизонт) и №181 (верхняя часть мелового горизонта), контролирующими уровень и химсостав подземных вод.

Участок Z (воды реки Черная Калитва) характеризуется т.н. 11, контролирующей химсостав реки.

7. Основной вид связи между элементами вектора — гидравлический, предопределен гидродинамикой потока подземных вод и проницаемостью пород; основное направление потока — от предприятия к реке.

Шламонакопители → подземные воды участка Т, вид связи — инфильтрация техногенных вод. 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 → река Черная Калитва, вид связи — естественное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: техногенное загрязнение подземных вод нитратами, нитритами, аммонием, хлором, натрием.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: наличие загрязненных сточных вод, нарушение технологического режима эксплуатации шламонакопителей, недостаточная защищенность дна шламонакопителей.

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

Участок Т: нитраты — 3 ПДК; нитриты — 10—15 ПДК; аммоний — 10 ПДК; натрий — 1 ПДК; железа — 1 ПДК; окисляемость — 2 ПДК; минерализация — 1,5 ПДК.

Участок ST: По скв. 1—18 — нитраты — 10 ПДК; нитриты — 10-12 ПДК; аммоний — 10 ПДК; натрий — 1 ПДК; железо — 1 ПДК; окисляемость — 2 ПДК; минерализация 1 ПДК. По скв. 181 — хлор — 1,5 ПДК; натрий — 1,5 ПДК; окисляемость — 1 ПДК; минерализация — 1 ПДК.

Участок Z: норма.

11. Гомеостатические границы. Определяются нормативными документами (ГОСТ, СанПиН). На настоящий момент времени вектор А2 по ярусам характеризуется:

Ярус Z (защищаемый объект) — устойчивое положение.

Ярус SZ — нет сведений.

12. Наблюдается направленная миграция техногенного аммония в сторону защищаемого объекта, однако границы на настоящий момент не установлены.

13. Прогнозные оценки изменения гидродинамической и гидрогеохимической ситуации выполнялись в конце 80-х (на основе статистических моделей) и в начале 90-х годов (на основе методов структурной идентификации процесса массопереноса нитратов).

На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основных загрязняющих компонентов — нитратов, нитритов и аммония.

14. Рекомендуемые мероприятия: продолжение контроля, упорядочение технологического режима работы шламонакопителей, замена противотрационного экрана в днище шламонакопителей, а там где он был нарушен при прорывах сточных вод — его восстановление.

#### ВЕКТОР МОНИТОРИНГА А3

Данный вектор имеет направленность «восточная граница шламонакопителей → р. Черная Калитва» и на настоящий момент представлен всего двумя участками ST и Z. Однако, учитывая то, что по результатам многолетнего контроля (более 10 лет) все показатели состояния данных участков отвечают норме (участок ST контролируется скважиной № 25а (четвертично-меловой комплекс), участок Z характеризуется т.н. 517 (река)), можно говорить об их достаточности для характеристики устойчивости всего вектора. Таким образом, данный вектор на сегодняшний день не рассматривается как генеральный вектор, а оценивается как вспомогательный. В пределах данного вектора реализован принцип минимальной достаточности пунктов контроля, позволяющий экономно расходовать средства.

#### ВЕКТОР МОНИТОРИНГА В

1. Наименование вектора — Вектор В.

2. Направленность вектора: внеплощадочные сооружения предприятия → водозабор птицефабрики с. Евстратовка. Основные внеплощадочные сооружения в пределах вектора — мелоотвал (бывшие поля фильтрации), хранилище жидкого аммиака.

3. Протяженность вектора — 1,5 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент контролируются три участка — Т, ST, Z. Отсутствуют яруса Р и SZ. Учитывая высокий уровень загрязнения участков Т и ST, на

данном векторе дополнительно необходим, как минимум, еще один ярус контроля.

5. Характеристика элементов векторной оси.

**Участок Т:** подземные воды четвертично-мелового комплекса в пределах контура бывших полей фильтрации (нынешнего мелоотвала).

**Участок ST:** подземные воды мелового комплекса на участке, примыкающем к хранилищу жидкого аммиака.

**Участок Z:** водозабор птицефабрики (воды мелового горизонта).

6. Наблюдательные пункты.

Участок Т характеризуется наблюдательными скважинами № 12 и № 14, предназначенными для контроля уровня и химсостава подземных вод четвертичного горизонта и скважиной № 12н, предназначенной для контроля верхней зоны мелового горизонта. Данные скважины расположены в пределах полей фильтрации (мелоотвала).

Участок ST характеризуется наблюдательной скважиной № 105 (меловой горизонт). Ведется контроль уровня и химсостава подземных вод.

Участок Z характеризуется водозаборной скважиной № 443. Контролируется химсостав.

7. Основной вид связи между элементами вектора.

Внеплощадочные сооружения → подземные воды участка Т, вид связи — инфильтрация техногенных вод. Воды участка Т → воды участка ST, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос и плотностное осаждение. Воды участка ST → воды участка SZ, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос и плотностное осаждение. Воды участка SZ → водозабор (участок Z), вид связи — искусственное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: техногенное загрязнение подземных вод нитратами, нитритами, аммонием, сульфатами, хлором, натрием, железом.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: наличие загрязненных сточных вод (карты полей фильтрации и иловые площадки) и их инфильтрация в грунтовую толщу, утечки из трубопроводов и хранилищ, растворение твердых техногенных продуктов и их инфильтрация, техногенное влияние промплощадки (производства аммиака и нитроаммофоски).

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

Участок Т: нитраты — 3-4 ПДК; нитриты — 3 ПДК; аммоний — 50-70 ПДК; сульфаты —

4 ПДК; хлор — 2 ПДК; натрий — 4 ПДК; железо — 1,5 ПДК; окисляемость — 5 ПДК; минерализация — 4,5 ПДК.

Участок ST: нитраты — 3 ПДК; нитриты — 1 ПДК; аммоний — 30-40 ПДК; хлор — 1 ПДК; натрий — 1,5 ПДК; окисляемость — 5 ПДК; минерализация 1,5 ПДК.

Участок Z: норма.

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

Ярус Z (защищаемый объект) — устойчивое положение.

Ярус SZ — нет сведений.

12. Возможна миграция техногенного аммония в сторону защищаемого объекта в силу измененной структуры потока подземных вод (радиальное растекание техногенного гидрокупола). Позитивным моментом является уменьшение объемов гидрокупола за счет вывода из эксплуатации основных карт полей фильтрации.

13. Прогнозные оценки изменения гидродинамической и гидрогеохимической ситуации выполнялись в конце 80-х (на основе статистических моделей) и в начале 90-х годов (на основе методов структурной идентификации процесса массопереноса нитратов).

На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего компонента — аммония.

14. Рекомендуемые мероприятия: продолжение контроля, упорядочение технологического режима эксплуатации мелоотвала и иловых площадок, предотвращение утечек жидкого аммиака из трубопроводов и хранилища.

#### ВЕКТОР МОНИТОРИНГА С

1. Наименование вектора — Вектор С.

2. Направленность вектора: промплощадка предприятия → водозабор «Придонхимстрой».

3. Протяженность вектора — 1 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент контролируются три участка — Т, ST, Z. Отсутствуют яруса Р и SZ. Учитывая непрерывное возрастание концентраций аммония на участке ST, в пределах вектора дополнительно необходим, как минимум, еще один ярус контроля.

Комментарий: участок Z, в силу другой ведомственной принадлежности объекта, контролируется от случая к случаю.

5. Характеристика элементов векторной оси.

**Участок Т:** подземные воды мелового комплекса в пределах производства азотной кислоты и аммиака.

**Участок ST:** подземные воды мелового комплекса на участке, примыкающем с запада к промплощадке предприятия.

**Участок Z:** водозабор ОАО «Придонхимстрой» (воды мелового горизонта).

6. Наблюдательные пункты.

Участок Т характеризуется наблюдательными скважинами № 15н (производство азотной кислоты) и №18н (производство аммиака), предназначенными для контроля уровня и химсостава подземных вод мелового горизонта.

Участок ST характеризуется наблюдательной скважиной № 13н (меловой горизонт). Ведется контроль уровня и химсостава подземных вод.

Участок Z характеризуется водозаборной скважиной № 27. Контролируется химсостав.

7. Основной вид связи между элементами вектора.

Промплощадка → подземные воды участка Т, вид связи — инфильтрация техногенных вод. Воды участка Т → воды участка ST, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос и плотностное осаждение. Воды участка ST → воды участка SZ, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос и плотностное осаждение. Воды участка SZ → водозабор, вид связи — искусственное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: техногенное загрязнение подземных вод нитритами и аммонием.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: наличие загрязненных техногенных и технологических вод и их инфильтрация в грунтовую толщу, утечки из трубопроводов и хранилищ (производство аммиачной селитры, азотной кислоты, аммиака), растворение твердых техногенных продуктов и их инфильтрация на участке производства нитроаммофоски.

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

Участок Т: скв. 18н (производство аммиака) — нитраты — 50 ПДК; нитриты — 70 ПДК; аммоний — 500-600 ПДК; сульфаты — 1,5 ПДК; хлор — 1,5 ПДК; натрий — 2 ПДК; железо — 1,5 ПДК; окисляемость — 5 ПДК; минерализация — 6,5 ПДК; скв. 1 5н (производство азотной кислоты) — аммоний — 10—12 ПДК, нитриты — 1 ПДК.

Участок ST: нитриты — 3 ПДК; аммоний — 8—10 ПДК.

Участок Z: норма.

Комментарий: В настоящий момент на участке Т контролируется лишь меловой водоносный горизонт, скважины на четвертичный горизонт по разным причинам вышли из строя. По результатам исследований прошлых лет был отмечен более высокий уровень загрязнения для четвертичного горизонта.

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

Ярус Z (защищаемый объект) — устойчивое положение.

Ярус SZ — нет сведений.

12. Наблюдается миграция техногенного аммония в сторону защищаемого объекта в силу измененной структуры потока подземных вод (радиальное растекание техногенного гидрокупола).

13. Прогнозные оценки изменения гидродинамической и гидрогеохимической ситуации выполнялись в конце 80-х (на основе статистических моделей) и в начале 90-х годов (на основе методов структурной идентификации процесса массопереноса нитратов).

На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего компонента — аммония.

14. Рекомендуемые мероприятия: продолжение контроля, упорядочение технологического режима основных производств, предотвращение утечек, выполнение прогноза миграции аммония в меловом водоносном горизонте.

#### ВЕКТОР МОНИТОРИНГА D

1. Наименование вектора — Вектор D.

2. Направленность вектора: внеплощадочные сооружения предприятия → северо-западная часть с. Евстратовка. Основные внеплощадочные сооружения в пределах вектора — поля фильтрации (ныне мелоотвал), хранилище жидкого аммиака.

3. Протяженность вектора — 1,5 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент контролируются два участка — Т и SZ. Вне контроля остаются промежуточные участки и собственно защищаемый ярус (колодцы с. Евстратовка). С учетом того, что участок SZ подвержен загрязнению аммонием, необходим дополнительный контроль на участках P (или ST) и Z.

5. Характеристика элементов векторной оси.

**Участок Т:** подземные воды четвертично-мелового комплекса в пределах контура бывших полей фильтрации (нынешнего мелоотвала).



**Участок SZ:** подземные воды мелового комплекса на участке, примыкающем к с. Евстратовка.

**Участок Z:** подземные воды верхней зоны мелового горизонта в северо-западной части с. Евстратовка.

6. Наблюдательные пункты.

Участок Т характеризуется наблюдательными скважинами № 12 и № 14, предназначенными для контроля уровня и химсостава подземных вод четвертичного горизонта и скважиной № 12н, предназначенной для контроля верхней зоны мелового горизонта. Данные скважины расположены в пределах полей фильтрации (мелоотвала).

Участок SZ характеризуется наблюдательной скважиной № 109 (меловой горизонт). Ведется контроль уровня и химсостава подземных вод.

Участок Z характеризуется частными буровыми колодцами. В настоящий момент не наблюдается.

7. Основной вид связи между элементами вектора.

Внеплощадочные сооружения → подземные воды участка Т, вид связи — инфильтрация техногенных вод. Воды участка Т → воды участка ST, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос и плотностное осаждение. Воды участка ST → воды участка SZ, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос и плотностное осаждение. Воды участка SZ → индивидуальный водозабор населением, вид связи — дренаживание.

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

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: наличие загрязненных сточных вод (карты полей фильтрации и иловые площадки) и их инфильтрация в грунтовую толщу, растворение твердых техногенных продуктов и их инфильтрация, техногенное влияние промплощадки (производства аммиака и нитроаммофоски).

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

Участок Т: нитраты — 3—4 ПДК; нитриты — 3 ПДК; аммоний — 50—70 ПДК; сульфаты — 4 ПДК; хлор — 2 ПДК; натрий — 4 ПДК; железо — 1,5 ПДК; окисляемость — 5 ПДК; минерализация — 4,5 ПДК.

Участок SZ: аммоний — 1 ПДК; окисляемость — 1,5 ПДК.

Участок Z: на настоящий момент нет сведений.

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

Ярус Z (защищаемый объект) — нет сведений (предположительно норма).

Ярус SZ — неустойчивое положение по содержанию аммония.

12. Возможна миграция техногенного аммония в сторону защищаемого объекта в силу измененной структуры потока подземных вод (радиальное растекание техногенного гидрокупола). Позитивным моментом является уменьшение объемов гидрокупола за счет вывода из эксплуатации основных карт полей фильтрации.

13. Прогнозные оценки изменения гидродинамической и гидрогеохимической ситуации выполнялись в конце 80-х (на основе статистических моделей) и в начале 90-х годов (на основе методов структурной идентификации процесса массопереноса нитратов).

На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции основного загрязняющего компонента — аммония.

14. Рекомендуемые мероприятия: продолжение контроля, упорядочение технологического режима эксплуатации мелоотвала и иловых площадок, предотвращение утечек жидкого аммиака из трубопроводов и хранилища.

#### ВЕКТОР МОНИТОРИНГА F

1. Наименование вектора — Вектор F.

2. Направленность вектора: пруды-накопители сточных вод → водозабор ТОО «Заречье».

3. Протяженность вектора — 4 км.

4. Структура вектора. В пределах вектора в настоящий момент контролируются три участка — Т, ST, Z. Отсутствуют яруса Р и SZ. Учитывая загрязнение аммонием участка ST, в пределах вектора дополнительно необходим еще один ярус контроля.

5. Характеристика элементов векторной оси.

**Участок Т:** подземные воды мелового комплекса в пределах пруда-накопителя № 4.

**Участок ST:** подземные воды мелового комплекса на участке, примыкающем к пруду-накопителю.

**Участок Z:** водозабор ТОО «Заречье» (воды мелового горизонта).

6. Наблюдательные пункты.

Участок Т характеризуется наблюдательной скважиной № 28н, предназначенной для контроля уровня и химсостава подземных вод мелового горизонта.

Участок ST характеризуется наблюдательной скважиной № 1202 (меловой горизонт). Ведется контроль уровня и химсостава подземных вод.

Участок Z характеризуется водозаборной скважиной т.н. 21. Контролируется химсостав.

7. Основной вид связи между элементами вектора — гидравлический, предопределен направлением потока подземных вод.

Пруды-накопители → подземные воды участка T, вид связи — инфильтрация техногенных вод. Воды участка T → воды участка ST, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка ST → воды участка SZ, вид связи — диффузионно-конвективный массоперенос. Воды участка SZ → водозабор, вид связи — искусственное дренирование.

8. Вид нарушения устойчивости в пределах вектора: техногенное загрязнение подземных вод нитратами и аммонием.

9. Основные факторы, выводящие систему из устойчивого состояния: наличие загрязненных сточных вод и их инфильтрация в грунтовую толщу.

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

Участок T: — нитраты — 1,5—2 ПДК; минерализация — 1 ПДК.

Участок ST: аммоний — 6 ПДК (условия среды более восстановительные).

Участок Z: норма (минерализация — 0,8 ПДК).

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

Ярус Z (защищаемый объект) — устойчивое положение.

Ярус SZ — нет сведений.

12. Возможна миграция техногенного аммония в сторону защищаемого объекта.

13. На настоящий момент времени актуальным является прогноз миграции соединений азота.

14. Рекомендуемые мероприятия: продолжение контроля, упорядочение технологического режима эксплуатации прудов-накопителей, предотвращение утечек.

Данные вектора мониторинга выстроены по главнейшим элементам природной подсистемы ПТЭС — подземным водам. Наряду с подземными водами, весьма важными элементами системы являются поверхностные воды, связанные с защищаемым объектом — р. Черная Калитва. К таковым относятся воды руч. Евстратовского и дренажного канала в пойме реки (рис. 2). Указанные водотоки впадают в р. Черную Калитву в районе с. Евстратовка. В данном

случае, понятие «вектор» можно использовать с определенной долей условности, но тем не менее он будет также отражать целевое назначение контроля.

#### ВЕКТОР W1 «РУЧ. ЕВСТРАТОВСКИЙ — Р. ЧЕРНАЯ КАЛИТВА»

Вектор «руч. Евстратовский → р. Черная Калитва» имеет важное значение в мониторинге в силу загрязнения вод ручья нитратами, нитритами, аммонием, железом, при минерализации до 3 ПДК. При этом следует отметить, что состав и уровень загрязняющих соединений в различные периоды крайне непостоянен: минерализация изменяется от 1 до 3 ПДК, концентрации нитратов — от 5 до 50 ПДК. Такая изменчивость связана с различными условиями питания ручья, подверженного сильному техногенному влиянию со стороны впадающего в него дренажного канала № 1, берущего начало на северо-восточной окраине предприятия, а также — влиянию других факторов. Воды данного канала загрязнены соединениями азота, что связывается в первую очередь с растворением и инфильтрацией просыпок сырья и продукции с железнодорожной эстакады, где постоянно находятся вагоны с указанными веществами. Таким образом, воды ручья Евстратовского являются прямым загрязнителем реки Черная Калитва и требуют постоянного контроля. Протяженность данного вектора оценивается протяженностью дренажного канала и собственно ручья Евстратовского и составляет — 3,5 км.

Контрольными пунктами являются т.н. 217 (приустьевая часть ручья), т.н. 210 (приустьевая часть канала) и т.н. 505 (р. Черная Калитва ниже впадения ручья). Таким образом, данные пункты наблюдения можно рассматривать, согласно структурной характеристике вектора, следующим образом: т.н. 210 — участок ST, т.н. 217 — участок SZ, т.н. 505 — защищаемый участок Z. Форма связи — дренирование.

Концентрации загрязняющих соединений: нитраты — 5—50 ПДК, нитриты — 1-10 ПДК, аммоний — 3—20 ПДК, железо — 1,5 ПДК, окисляемость — 3 ПДК.

Устойчивость системы по участкам SZ и Z характеризуется следующим образом:

Участок SZ — неустойчив по содержанию нитратов, нитритов, аммония и железу.

Участок Z — норма.

Комментарий. На настоящий момент река Черная Калитва, благодаря процессам самоочищения (биохимические процессы, разбавление), по своему составу отвечает норме. Однако ее предельные защитные возможности неизвестны и существует

опасность развития устойчивого загрязнения реки. В связи с этим, необходимо выполнение прогнозной оценки защитной емкости реки, что позволит судить об устойчивости вектора в перспективе и своевременно перейти к защитным мероприятиям.

#### ВЕКТОР W2 «ДРЕНАЖНЫЙ КАНАЛ №2 — Р. ЧЕРНАЯ КАЛИТВА»

Вектор «дренажный канал №2 → р. Черная Калитва» также имеет важное значение в общей структуре мониторинга в силу загрязненности вод канала сульфатами, натрием, нитратами, нитритами, железом, иногда аммонием. Канал дренирует воды современно-четвертичного водоносного горизонта в пойме реки ниже шламонакопителей предприятия и впадает в р. Черная Калитва в районе с. Евстратовка.

По своему химическому составу воды канала более стабильны, чем воды ручья Евстратовского (минерализация изменяется от 2 до 2,6 ПДК), что связано с более устойчивым режимом их формирования (питание связано в основном с грунтовыми водами современно-четвертичного горизонта). Протяженность вектора (канала) — 3,6 км.

Контрольными пунктами являются т.н. ДК-1 (центральная часть дренажного канала) и т.н. 513 (р. Черная Калитва ниже впадения канала). Форма связи — дренирование. Основная причина нарушения устойчивости — дренирование каналом загрязненных вод четвертичного горизонта и, по видимому, периодический прием внеплановых техногенных стоков.

Концентрации загрязняющих соединений: сульфаты — 1,5 ПДК, аммоний — 1 ПДК, нитриты — 3 ПДК, нитраты — 2-10 ПДК, натрий — 2—2,5 ПДК, железо — 1,5 ПДК, окисляемость — 3 ПДК, минерализация — 2-2,5 ПДК.

Устойчивость системы по участкам SZ и Z:

Участок SZ — неустойчивое положение по соединениям азота, сульфатам, натрию.

Участок Z — норма.

Комментарий. Собственно в приустьевой части канала наблюдения не проводятся и за участок SZ взят пункт (т.н. ДК-1), отвечающий скорее пункту SZ или P, однако, учитывая малую изменчивость состава вод канала по его протяжению, такой подход можно считать допустимым, но при этом следует рекомендовать проведение контроля и в приустьевой части канала. В качестве прогнозных задач необходимо рекомендовать оценку защитной емкости реки.

В целом на сегодняшний момент исследуемая ПТЭС оценивается как устойчивая по ярусам Z в

пределах всех векторов мониторинга и как вышедшая из равновесия по ярусам SZ в пределах векторов «A1», «D», «W1» и «W2».

По представленной структуре мониторинга данной ПТЭС можно сделать вывод, что существующая структура мониторинга ПТЭС «ОАО «Минудобрения» — геологическая среда» отвечает методическим принципам ее организации, предлагаемым автором данной работы. При этом, следуя принципу оценки устойчивости системы по защищаемым объектам, необходимо отметить, что модель данной ПТЭС является недостаточно полной и нуждается в оптимизации. Так, для повышения эффективности прогнозных и управленческих решений требуется расширение элементного состава генеральных векторов мониторинга.

По **вектору A1** необходим контроль участка P двумя наблюдательными пунктами (один на четвертичный водоносный горизонт, другой на меловой горизонт) и участка SZ наблюдательным пунктом на четвертичный водоносный горизонт.

По **вектору A2**, как минимум, необходим контроль участка SZ двумя наблюдательными пунктами (один на четвертичный водоносный горизонт, другой на меловой горизонт).

По **вектору B** необходим контроль участка SZ двумя наблюдательными пунктами (один на четвертичный водоносный горизонт, другой на меловой горизонт).

По **вектору C** необходим дополнительный контроль участка ST наблюдательным пунктом на четвертичный водоносный горизонт и контроль участка SZ (или P) двумя наблюдательными пунктами (или одним — на меловой горизонт, в зависимости от состояния вод четвертичного горизонта на участке ST).

По **вектору D** необходим контроль участка P двумя наблюдательными пунктами (один на четвертичный водоносный горизонт, другой на меловой горизонт).

По **вектору F** необходим контроль участка SZ наблюдательным пунктом на меловой водоносный горизонт.

По **вектору W1** необходим дополнительный контроль участка Z ниже по течению от т.н.505 для оценки самоочищающей способности реки в случае ее загрязнения водами ручья.

По **вектору W2** необходим контроль приустьевой части канала (участка SZ).

Таким образом, проводится операция корректировки сети мониторинга (оптимизация), определение ее целевого назначения. В модель состава

исследуемой системы дополнительно включаются еще 14 элементов (пунктов наблюдений) по генеральным линиям контроля (рис. 4).

Помимо генеральных пунктов контроля, в сеть мониторинга данной ПТЭС входят и вспомогательные наблюдательные пункты (скв. 182, 108, 28н, 1203 и др.), предназначенные для оценки фоновое (природное) состояния подземных вод, выявления площади загрязнения, оценки утечек из гидротехнических сооружений и т.д. Таким образом, можно сделать вывод о разделении функций наблюдательной сети на генеральную и вспомогательную. Однако ядром в проведении мониторинга ПТЭС будет являться генеральная сеть наблюдений, функционирующая в пределах выбранных векторов мониторинга.

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. Необходимость обязательного прогноза становится очевидной, так как позволяет приступить к управленческим мероприятиям, не дожидаясь нарушения функций защищаемых объектов и имея в запасе определенный резерв времени.

Для накопления и обработки информации, получаемой по результатам контроля, для ее подготовки к прогнозному 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 представ-

ляется картографическими моделями состояния системы.

Нормальным функционированием системы будет являться устойчивость ее граничных элементов — защищаемых объектов. Оптимальным функционированием системы будет являться устойчивость ярусов SZ генеральных векторов мониторинга, особенно если их устойчивость прогнозируется на будущее.

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

Таким образом, для ПТЭС «ОАО «Минудобрения» — геологическая среда» остается определить лишь частоту оценок состояний ее элементов (отбор проб на химанализ, замер уровней подземных вод, замер температуры и т.д.) и параметры, по которым будет оцениваться их состояние. Другими словами, ответить на вопрос «как наблюдать?».

На основании многолетних наблюдений и характера самого предприятия в качестве основных параметров, характеризующих состояние системы, рекомендуется принять: концентрации аммония, нитратов, нитритов, сульфатов, натрия, хлора, показатели минерализации и окисляемости; для оценки условий их миграции — показатели окислительно-восстановительного потенциала, температуру и pH; для определения гидрохимических типов и направленности их трансформации — типобразующие макрокомпоненты (гидрокарбонаты, кальций, магний); для выявления источников специфического техногенного влияния (производство нитроаммофоски) — калий, фосфаты, из микрокомпонентов — стронций, барий (компоненты сырья — апатита); для оценки возможного развития процессов растворения карбонатных пород (карстообразования) и бетона фундаментов инженерных сооружений — растворенную уголекислоту. Периодически можно проводить полный химический анализ подземных и поверхностных 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.

Таковы условия функционирования системы мониторинга ПТЭС «ОАО «Минудобрения» — геологическая среда». При этом необходимо добавить,

что наряду с собственно мониторинговыми работами, рекомендуется проведение специальных научных исследований, позволяющих лучше понимать происходящие в системе процессы для оптимизации прогноза и управления ее состоянием. Это могут быть исследовательские работы по оценке защитной емкости поймы реки Черная Калитва как элемента ландшафта, препятствующего миграции загрязняющих соединений к реке за счет комплекса протекающих здесь процессов (сорбция, ионный обмен, кристаллизация, биохимическая аккумуляция, редокс-реакции и др.); исследовательские работы по изучению трансформации азотных соединений и условий их миграции в подземных водах четвертично-мелового комплекса; работы по оценке защитной способности реки Черная Калитва (процессы самоочищения); изотопные исследования, позволяющие дифференцировать источники поступления органического и неорганического вещества [2,3] и др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В.Л. Моделирование техногенного изменения состава подземных вод системы Россошанского химического комбината Воронежской области / В. Л. Бочаров, В. С. Стародубцев, Ю. М. Зинюков; Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж, 1996. — 25 с. — Деп. в ВИНТИ 7.06.96, № 1897 — В96.
2. Бочаров В.Л. Изотопно-геохимическая характеристика подземных вод района ОАО «Минудобрения» г. Россошь / В. Л. Бочаров, Ю. М. Зинюков // Вестник ВГУ. Сер. Геология — 1997. — № 4. — С. 158—163.
3. Бочаров В.Л. Изотопный анализ подземных вод в эколого-геохимических исследованиях территорий с интенсивной техногенной нагрузкой / В. Л. Бочаров, Ю. М. Зинюков // Прикладная геохимия. Вып. 4. Аналитические исследования / Главные редакторы Э. К. Буренков, А. А. Кременецкий. Сборник статей. — М.: ИМГРЭ, 2003. — С. 178—186.
4. Зинюков Ю.М. Структурно-иерархическая модель природно-технической экосистемы «ОАО «Минудобрения» — природная среда» // Вест. Воронеж. ун-та. Геология. — 2001. — № 12. — С. 190—197.
5. Зинюков Ю.М. Методические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей // Вест. Воронеж. ун-та. Геология. — 2002. — № 13. — С. 235—242.