



УДК 556.3.013:517

**СТРУКТУРНО-ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ
«ОАО "МИНУДОБРЕНИЯ" - ПРИРОДНАЯ СРЕДА»**

Ю.М. Зинюков

Воронежский государственный университет

Моделирование природно-технических экосистем является актуальной процедурой при исследовании сложных природно-техногенных взаимодействий. В данной статье рассматривается процедура структурного моделирования такой природно-технической экосистемы как "ОАО "Минудобрения" – геологическая среда". Структурно-иерархическая модель данной ПТЭС рассматривается как основа организации ее мониторинга.

Модель природно-технической экосистемы «ОАО «Минеральные удобрения» - природная среда» конструировалась в соответствии с разработанной методикой моделирования ПТЭС [1]. Данная модель относится к моделям, построенным на основании многолетнего опыта ведения мониторинга геологической среды на территории функционирующего промышленного объекта, опыт исследований на котором, собственно, и лежит в основе данных методических разработок. Детальная характеристика природных (геологических) и техногенных условий исследуемой территории приведена в работах [2,3]. В данной статье рассматриваются вопросы структурного моделирования природно-технической экосистемы на примере крупного предприятия химической промышленности по производству минеральных азотных и комплексных удобрений ОАО «Минудобрения» г.Россошь.

Процедура вовлечения элементов в ПТЭС

В техническую подсистему моделируемой ПТЭС «ОАО «Минеральные удобрения» - природная среда» вошли инженерные сооружения (техногенные объекты), которые подлежат контролю в силу их ответственной значимости для самого предприятия (выхлопные трубы №№1 и 2 в комплексе производства азотной кислоты, корпус производства азотной кислоты, комплекс аммиачной селитры (упаковочная и производственный корпус), башни грануляции производства нитроаммофоски, хранилища жидкого аммиака емкостью 30 тыс. тонн, 10 тыс. т, 1 тыс. т, плотины прудов-накопителей, дамбы шламонакопителей) и сооружения, которые подлежат контролю в силу их экологической опасности – это участки производства аммиачной селитры,

аммиака, нитроаммофоски, азотной кислоты, хранилища жидкого аммиака, азотной кислоты, склад хлористого калия, склад апатита, участок мелоотвала – отходы производства нитроаммофоски, биологические очистные сооружения, гидротехнические очистные сооружения – поля фильтрации, иловые площадки, шламонакопители, ливнеотстойники, пруды-накопители сточных вод, аммиакопровод и сети водопроводных коммуникаций.

Из природных элементов, выполняющих **производственную** функцию, в соответствии с определенными нами критериями [1] в систему вовлекаются:

- подземные воды верхнемелового и верхнедевонского водоносного горизонта, служащие для питьевого и хозяйственного водоснабжения предприятия на участке водозабора «Сосна» (ведомственный водозабор предприятия), расположенного в 3 км северо-западнее промплощадки;
- поверхностные воды реки Дон (технический водозабор расположен в 26 км восточнее промплощадки, близ с. Старая Калитва), служащие для технических и технологических целей;
- поверхностные воды реки Черная Калитва и ручья Евстратовского в качестве разбавителя сточных вод с прудов-накопителей в период весеннего паводка (имеется разрешение надзорных органов);
- верхнечетвертичные аллювиальные отложения второй и первой надпойменной террасы р. Черная Калитва (по литологии - преимущественно пески) в качестве грунтовых оснований зданий и инженерных сооружений предприятия, вместилища подземных коммуникаций и фильтрующего материала в основании полей фильтрации;
- верхнемеловые отложения (по литологии – мела), залегающие непосредственно под верхнечет-

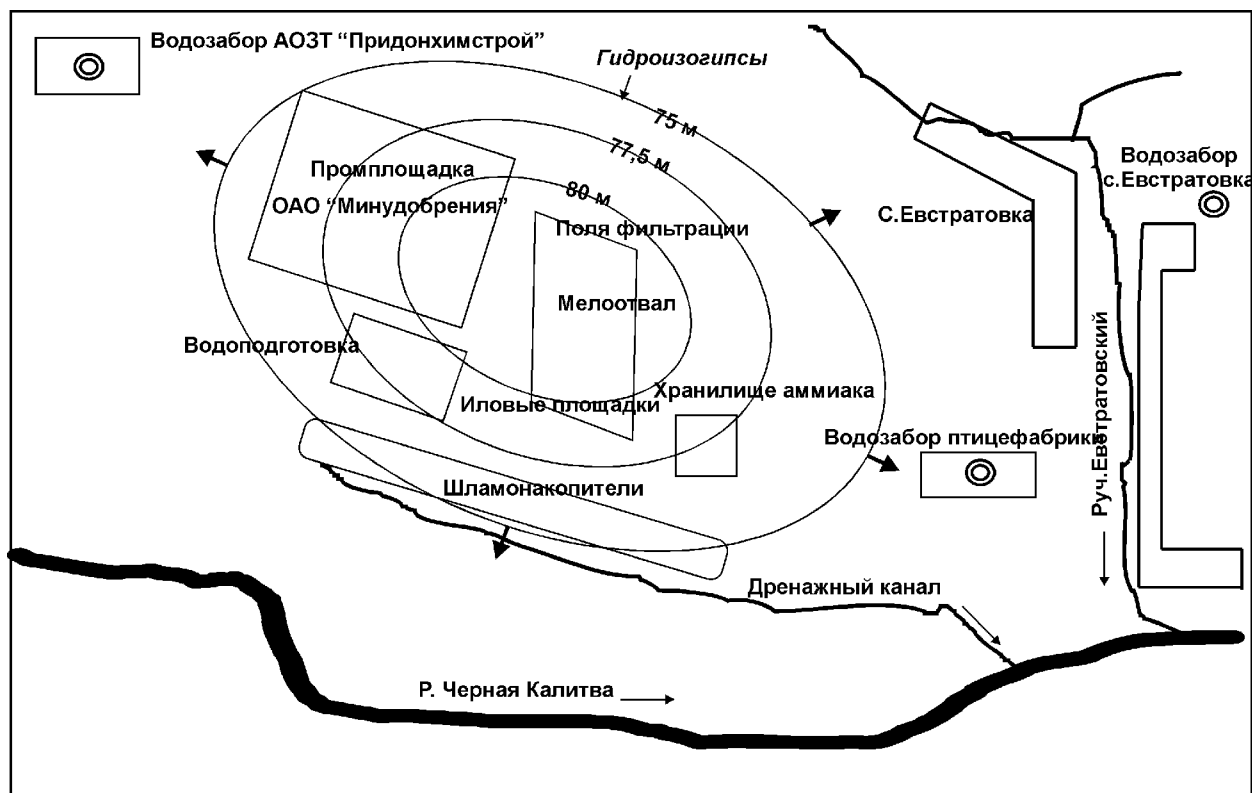


Рис.1. Схема расположения сооружений ОАО «Минудобрения» и защищаемых объектов.

вертикальными отложениями и попадающими в активную толщу при максимальном заполнении хранилища жидкого аммиака емкостью 30 тыс. тонн;

- субэаральные покровные отложения (по литологии – преимущественно суглинки) в качестве оснований прудов-накопителей сточных вод.

Дальнейшее вовлечение природных объектов производилось в реализации второй цели – **экологической** (для нас - основной), также в соответствии с разработанными критериями. Схема расположения промышленного предприятия и защищаемых объектов приведена на рис.1.

1. По критериям подверженности природных объектов **прямому техногенному воздействию** в систему вовлечены:

- верхнечетвертичные аллювиальные отложения и подземные воды верхнечетвертичного водоносного горизонта в пределах контура промплощадки (производства азотной кислоты, амселитры, аммиака, нитроаммофоски) и внеплощадочных очистных сооружений (ливнеотстойник, шламонакопители, поля фильтрации, иловые площадки);

- подземные воды верхнемелового водоносного горизонта и покровные отложения в пределах прудов-накопителей сточных вод;

- подземные воды верхнемелового водоносного горизонта в пределах контура промплощадки и внеплощадочных сооружений, загрязненные в силу их тесной гидравлической связи с загрязненными верхнечетвертичными водами;

- поверхностные воды дренажного канала №1, расположенного северо-восточнее предприятия (впадает в урочище Лиман).

Данные объекты испытывают первоочередное техногенное влияние в силу их близкого залегания от земной поверхности, или в случае с дренажным каналом – принимают неорганизованные промышленные водосбросы, являясь вместилищем и разбавителем сточных вод. Таким образом, данные объекты сами становятся источником загрязнения для сопредельных природных сред.

Данные участки будем условно именовать **участками «Т»** (литера указывает на прямую техногенную подверженность).

2. По критериям подверженности природных объектов негативному воздействию со стороны смежных элементов природной подсистемы, испытывающих прямое техногенное влияние в систему вовлечены:

- подземные воды участка верхнечетвертичного горизонта, смежного с участком, расположенным в пределах контура промплощадки и внеплощадочных очистных сооружений;

- подземные воды участка верхнемелового турон-коньякского горизонта, залегающего непосредственно под верхнечетвертичным горизонтом;

- подземные воды участка верхнемелового турон-коньякского горизонта, смежного с участком, расположенным в пределах контура промплощадки и внеплощадочных очистных сооружений;

- подземные воды участка современно-четвертичного горизонта, сопряженного с участком Т верхнечетвертичного горизонта;

- поверхностные воды ручья Евстратовский (верхнее течение), который связан с дренажным каналом участка Т.

Данные участки будем условно именовать **участками «ST»** (латинская литера указывает на смежное расположение с участками прямой техногенной подверженности).

3. По критериям принадлежности природных объектов к собственно **защищаемым объектам** в систему вовлечены:

- река Черная Калитва – главный водоток Россошанского района;

- подземные воды верхнемелового турон-коньякского водоносного горизонта на участке водозабора птицефабрики с. Евстратовка (питьевое водоснабжение);

- подземные воды верхнемелового турон-коньякского водоносного горизонта на участке централизованного водозабора ТОО «Заречье»;

- подземные воды верхнемелового турон-коньякского водоносного горизонта на участке водозабора АОЗТ «Придонхимстрой» (питьевое водоснабжение);

- подземные воды верхней зоны верхнемелового турон-коньякского водоносного горизонта в северо-западной части с. Евстратовка, используемые для частного водоснабжения с помощью буровых колодцев.

Данные участки будем именовать **участками «Z»** (литера указывает на их принадлежность к защищаемым объектам).

Особо следует отметить, что число защищаемых элементов может изменяться в случае изменения сложившейся геоэкологической обстановки в районе или же в случае корректировки целей наблюдения. Так, например, в число защищаемых объектов могут быть вовлечены и грунтовые основания в случае существенного изменения их физико-механических свойств, представляющих угрозу снижения их несущей способности и соответственно - устойчивости инженерных сооружений, или участки подземных вод, планируемые к перспективному водоснабжению, которые могут быть потенциально загрязненными и др.

4. По критериям отнесения природных объектов к **смежным с защищаемыми объектами** в систему вовлечены:

- поверхностные воды ручья Евстратовский (нижнее течение), впадающего в Черную Калитву;

- поверхностные воды дренажного канала №2 (шламонакопители – пойма р. Черной Калитвы), впадающего в Черную Калитву;

- подземные воды современно-четвертичного водоносного горизонта участка, примыкающего к р. Черная Калитва в пределах вектора техногенного влияния;

- подземные воды верхнемелового водоносного горизонта участка, примыкающего к р. Черная Калитва в пределах вектора техногенного влияния;

- подземные воды верхнемелового водоносного горизонта участка, примыкающего к участку питьевого водозабора птицефабрики в пределах вектора техногенного влияния;

- подземные воды верхнемелового водоносного горизонта участка, примыкающего к участку питьевого водозабора АОЗТ «Придонхимстрой» в пределах вектора техногенного влияния;

- подземные воды верхнемелового водоносного горизонта участка, примыкающего к участку питьевого водозабора ТОО «Заречье» в пределах вектора техногенного влияния;

- подземные воды верхней зоны верхнемелового водоносного горизонта участка, примыкающего к северо-западной части с. Евстратовка в пределах вектора техногенного влияния.

Данные участки будем именовать **участками «SZ»** (литера указывает на их принадлежность к смежным с защищаемыми объектами).

5. По критериям отнесения части природных объектов к переходным участкам (вектор мониторинга - от техногенных объектов к защищаемым объектам) в систему вовлекаются участки подземных вод, расположенные между участками ST и SZ, или же, в случае их невыделения, между участками T и Z.

Данные участки будем условно именовать **участками «P»** (латинская литера указывает на их отнесение к переходным участкам).

6. По критериям отнесения природных объектов (изменившихся в результате техногенного воздействия) к **объектам негативного влияния** на само предприятие (обратное воздействие) в систему вовлекаются: верхнечетвертичные отложения, служащие основаниями зданий и инженерных сооружений предприятия (в случае снижения их несущей способности), подземные воды верхнечетвертичного горизонта, повышающие свой уровень и агрессивность в результате утечек и инфильтрации техногенных вод, верхнемеловые отложения (в случае образования в них карстовых полостей), подземные воды верхнемелового горизонта, повышающие свою агрессивность.

В свою очередь, в пределах указанных участков выделяются участки миниконтроля за состоянием геологических тел и водных объектов, традиционно принятые в геологии как основные и получившие название «пункты (точки) наблюдения». В пределах пункта наблюдения выделяется минимальный объем того или иного компонента геологической среды, соответствующий понятию «проба (образец)» и являющийся предельным элементом изучаемой системы.

Модель состава ПТЭС «ОАО «Минудобрения» – геологическая среда» представлена на рис.2. Дополнительно в систему включены атмосферные осадки, воздушная среда и биотические компоненты как факторы преобразования геологической среды исследуемой территории, а также технические системы контроля.

Следует отметить, что данная модель состава системы является открытой и, следуя принципу полноты модели [4], в систему может быть включен блок «все остальное». Другими словами, элемент-

ный состав системы может корректироваться вместе с расширением целей исследования или же напротив – их сужением. Основным же принципом моделирования (выбора элементов) являлся **принцип минимальной достаточности и необходимости**.

Остается добавить, что актуальной остается задача назначения границ выделяемых участков Т, ST, P, SZ и Z. Данные границы могут быть определены в соответствии с простой геометрической пропорциональностью линейного вектора «техногенный объект → защищаемый объект». Такой способ может применяться в условиях изотропной среды миграции загрязняющих веществ. В случае выраженной анизотропии среды при назначении границ следует опираться на факторы, определяющие миграцию: гидродинамический, литологический, геохимический и др., а также, в случае их наличия, – на прогнозные модели.

Связи и отношения элементов ПТЭС

Взаимосвязи между элементами системы определяют ее структуру и последующий механизм ее функционирования. Согласно разработанной методике, связи и отношения установлены между техногенными и природными объектами, которые определяются самим фактом существования техногенного объекта, а также, что наиболее важно, между объектами природной среды (выделенных их частей).

В соответствии с разработанной методикой моделирования, связи между элементами системы анализируются по вектору наблюдения «**техногенный объект → защищаемый объект**» следующим образом.

Инженерные сооружения предприятия находятся в отношениях статического и динамического сонахождения с элементами природной среды. Статическим характером воздействия на грунтовую толщу отличаются большинство зданий и вспомогательных корпусов предприятия. Статическое воздействие на грунтовую толщу оказывают и гидротехнические сооружения, надежно изолированные от фильтрации. Динамическим характером воздействия на грунтовую толщу отличаются хранилища жидкого аммиака, резервуары которых заполняются разными объемами продукта в различное время; корпус производства азотной кислоты, где установлены виброагрегаты и др. Это механическая нагрузка. Она показательна при оценке устойчивости сооружений и грунтовых оснований, что и определяет данные отношения как отношение «инженерное сооружение – основание», то есть как механическое взаимодействие.

Вместе с механическим воздействием со стороны техногенного объекта существует и гидравлическое воздействие (технологическая схема предприятия, как указывалось выше, связана с интенсивным водооборотом, а зона аэрации сложена хорошо

проницаемыми песками). На участке же полей фильтрации такая связь предусмотрена умышленно, так как грунтовая толща выступает здесь в качестве фильтрационной среды, обеспечивающей функционирование данных гидротехнических сооружений. Таким образом, можно констатировать, что между техническими сооружениями и грунтовой толщей существует направленная гидравлическая связь в форме инфильтрации техногенных вод. В результате данной связи (прямое техногенное воздействие) изменяется количественный и качественный состав элементов геологической среды участка «Т». На этом участке зафиксированы наибольшие изменения гидродинамических и гидрогеохимических условий.

Таким образом, связи между техногенным объектом и участком «Т» геологической среды оцениваются как механические и гидравлические в форме инфильтрации техногенных вод (прямое загрязнение). Элементы участка «Т» оказались подвержены первоочередному изменению (загрязнению) и, в свою очередь, становятся источником негативного воздействия на сопредельные участки геологической среды (участки «ST»).

Так, загрязненный верхнечетвертичный водоносный горизонт в пределах контура промплощадки и внеплощадочных очистных сооружений оказывает негативное влияние на смежные с ним участки данного горизонта, расположенные вне контура прямой техногенной нагрузки. Между ними существует гидравлическая связь в форме конвективного массопереноса и гидродисперсии. А также – на верхнемеловой водоносный горизонт, расположенный непосредственно под четвертичным в пределах техногенного контура. Между ними существует вертикальная гидравлическая связь в форме диффузии и гравитационной дифференциации (плотностного осаждения). Данный вид связи ведет к загрязнению участков «ST» геологической среды исследуемой территории.

С учетом того, что существующая структура грунтового потока имеет радиальную форму (рис. 1), то и расположение участков «ST» относительно участков «Т» должно соответствовать изменившимся гидродинамическим условиям.

Таким образом, между участками «Т» и участками «ST» существует прямая гидравлическая связь в форме диффузионно-конвективного массопереноса.

Таким же образом выглядят связи и между участками «ST» и участками «P», между участками «P» и участками «SZ», что способствует миграции загрязняющих соединений в сторону защищаемых объектов. Между защищаемыми участками и сопредельными с ними участками «SZ» существуют прямые гидравлические связи в форме естественного дренирования (р. Черная Калитва дренирует воды современного и верхнемелового водоносных горизонтов, воды ручья Евстратовский и дренажного канала №2) и в форме искусственного дренирования за счет работы водозаборных сооружений, оборудо-

ванных на верхнемеловой водоносный горизонт, что также способствует миграции и попаданию загрязняющих соединений в защищаемый объект. Структурные связи между основными элементами системы показаны на рис. 3,4.

В итоге, исходя из наличия такого рода связей между элементами исследуемой ПТЭС, определяемых сложившимися геолого-гидрогеологическими условиями и характером техногенной нагрузки в пределах изучаемой территории, мы получаем логическую структуру системы, позволяющую понять механизм ее функционирования и, соответственно, осуществлять контроль за развитием процесса загрязнения, с оценкой степени выхода системы из равновесного состояния.

Механизм функционирования ПТЭС «ОАО «Минудобрения» - геологическая среда»

Исследуемая система функционирует следующим образом.

Для осуществления своей производственной деятельности предприятие использует природные ресурсы: поверхностную воду для технологических целей (р.Дон), подземную воду для питьевых и хозяйственных целей (водозабор предприятия – преимущественно верхнемеловые воды), грунтовую толщу в качестве оснований и вместилища инженерных сооружений, а также в качестве фильтрационной среды (поля фильтрации), грунты как строительный материал (песчаные и глинистые) для устройства плотин и дамб обвалования гидротехнических сооружений, поверхностные воды как вместилище и разбавитель стоков (дренажные каналы, руч.Евстратовский, р. Черная Калитва), воздушную среду как источник свободного азота для технологического цикла синтеза аммиака, а также в качестве вместилища газообразных выбросов предприятия, природный газ как источник водорода для синтеза аммиака, природные минеральные образования – апатит как источник фосфатов и хлористый калий как источник калия в процессе производства комплексного удобрения - нитроаммофоски, а также микроорганизмы в качестве регулятора процессов очищения на биологических очистных сооружениях и иловых площадках, и растительный покров для укрепления откосов дамб гидротехнических сооружений.

Таким образом, в процессе функционирования природно-технической системы ОАО «Минудобрения» оказываются задействованы не только материально-технические и людские ресурсы (в данном случае рассматриваются отдельно от остальной природной составляющей), но и все элементы природной среды – геологические тела, водные объекты, воздушная среда, биота.

В случае выхода системы из равновесного состояния, ее возврат в устойчивое равновесие, обеспечивающее нормальное функционирование систе-

мы (выполнение своей **производственной** функции) осуществляется системой административно-технического контроля и управления. Что позволяет данной промышленной системе успешно работать.

Конструируемая экспертом-исследователем природно-техническая экосистема «ОАО «Минудобрения» – природная среда» (в реализации **экологической** цели моделирования системы) функционирует следующим образом.

Предприятие, используя материально-технические, людские и природные ресурсы, осуществляет производство промышленной продукции. Уровень функционирования контролируется административно-техническим персоналом предприятия.

При этом, происходит изменение природной обстановки. Состояние природной среды контролируется группой специалистов (экспертами-исследователями). В случае выхода системы из равновесия (реального или ожидаемого), исследователи ПТЭС предлагают соответствующие меры по ликвидации неблагоприятных изменений (возврату в устойчивое состояние) или их предотвращению. Административно-технический персонал предприятия (или государственные службы охраны окружающей среды) должны обеспечить реализацию экспертных рекомендаций. Контролирующие и управляющие блоки являются составной частью функционирующей системы.

Под влиянием техногенного объекта в первую очередь изменяется состояние природного элемента ПТЭС – участка «Т» (в основном за счет инфильтрации техногенных вод). Далее, благодаря прямой гидравлической связи данного элемента с элементом ПТЭС – участком «ST», происходит изменение последнего. Степень его изменения определяется целым комплексом факторов (гидродинамических, физико-химических, литологических и др.). Далее, благодаря гидравлической связи и гидродинамическим характеристикам потока, происходит (или не происходит) изменение смежных элементов ПТЭС - участков «Р», «SZ» и «Z». Степень их изменения также зависит от комплекса факторов.

Ход данного процесса, его направленность и характер подлежит постоянному контролю и оценке устойчивости ПТЭС специалистами, осуществляющими мониторинг данной ПТЭС по определенным критериям гомеостазиса системы. В случае если защищаемые элементы природной среды – участки «Z», по своему состоянию отвечают требованиям экспертной модели устойчивости ПТЭС и прогнозные варианты не выходят за гомеостатические пределы – можно считать, что система функционирует нормально и прибегать к управляющим мероприятиям (помимо контроля и прогноза) нет необходимости. Если же какой-либо из элементов (определяется опытным или прогнозным путем) вышел из допустимого состояния (или этот выход ожидается в ближайшем будущем), то функционирование системы подвергается корректировке («ремонт») соот-

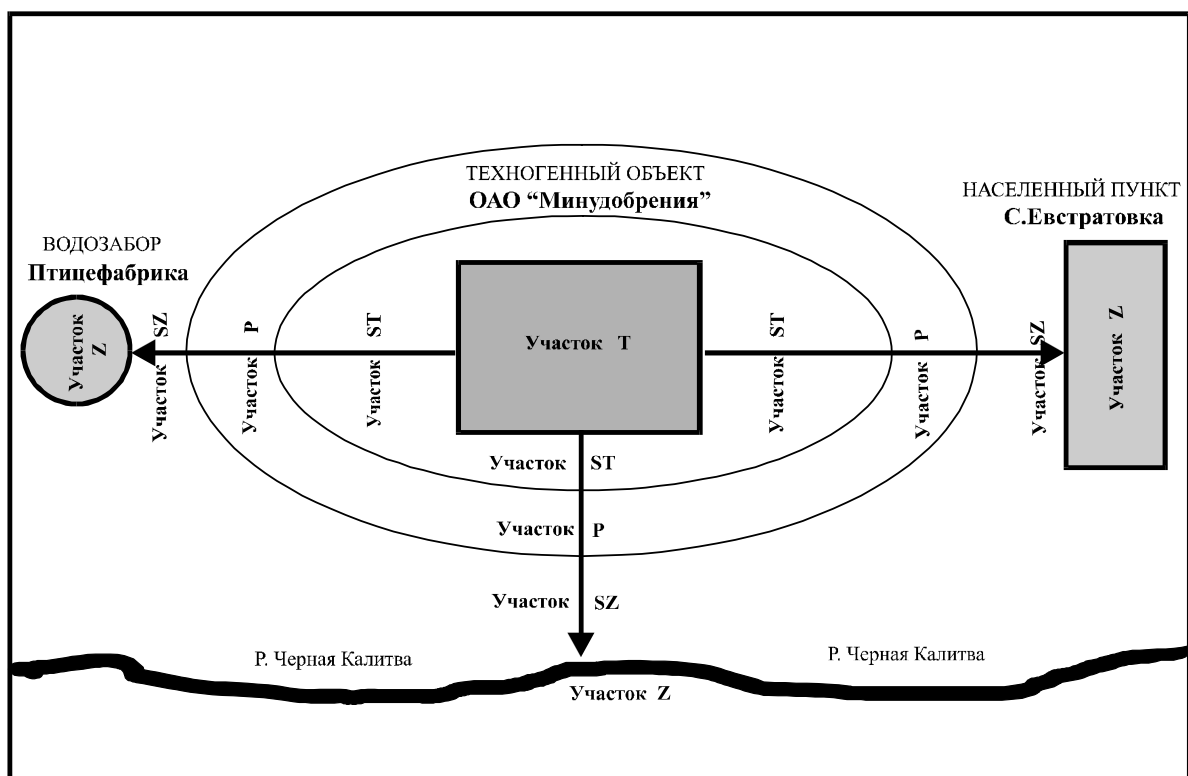


Рис.4. Принципиальная схема структуры ПТЭС «ОАО «Минудобрения» – природная среда».

ветствующими службами (это могут быть производственные или надзорные органы) на основании рекомендаций экспертов по мониторингу.

Таким образом, функционирование созданной модели ПТЭС осуществляется перманентной реализацией последовательных процедур мониторинга – контроля, анализа, прогноза, управления. Оптимизация данного процесса связывается с эффективной организацией мониторинга природно-технической экосистемы. Основой данной процедуры, на наш взгляд, должна служить структурно-иерархическая модель исследуемой ПТЭС, позволяющая рационально отслеживать изменения устойчивости системы или отдельных ее блоков.

УДК 502.5 (470/324)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ БАСЕЙНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ УСМАНЬ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В.Л.Бочаров, О.А.Бабкина

Воронежский государственный университет

Река Усмань и подземные воды, локализованные в бассейне ее нижнего течения, испытывают интенсивную антропогенную нагрузку. Метаморфизация природных вод происходит за счет проникновения в водоносные горизонты промышленных и бытовых стоков предприятий, животноводческих комплексов; многочисленных садоводческих потребительских обществ и баз отдыха, расположенных в пойме реки. Отмечены очаги загрязнения нитрат-, нитрит- и аммоний-ионами, где их суммарное содержание в 2-7 раз превышает предельно-допустимые концентрации.

В бассейне нижнего течения реки Усмань (Новоусманский район Воронежской области) имеют распространение подземные воды трех типов: грунтовые (со свободной поверхностью), слабонапорные и артезианские (напорные).

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинюков Ю.М. Методические основы конструирования и анализа структурно-иерархических моделей природно-технических экосистем // Вестн. Воронеж. ун-та. Геология. – 2001. - №11. – С.210-222.
2. Бочаров В.Л., Зинюков Ю.М., Смоляницкий Л.А. Мониторинг природно-технических экосистем. – Воронеж, 2000. – 226 с.
3. Бочаров В.Л., Зинюков Ю.М. Изотопно-геохимическая характеристика подземных вод района ОАО «Минудобрения» г.Россошь // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. – 1997. - №4. – С.158-163.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М., 1989. - 367 с.

В гидрогеологическом разрезе выделяются два структурно-гидрогеологических этажа: верхний и нижний [1, 2].

Подземные воды верхнего этажа приурочены к песчаным породам современного, четвертичного и