

СТРУКТУРНО-ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ «ПОЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ООО "ЭТАНОЛ-СПИРТ" – ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА» КАК ОСНОВА ОПТИМИЗАЦИИ ЕЕ МОНИТОРИНГА

Ю. М. Зинюков, А. В. Золотарев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 21 февраля 2012 г.

Аннотация. Оптимизация мониторинга природно-техногенных систем связывается с разработкой и внедрением методик конструирования моделей исследуемых систем как сложных природно-техногенных объектов. Для повышения эффективности мониторинга особо пристальное внимание необходимо обращать на его начальный этап – этап организации, на котором создается модель изучаемого объекта и определяется методика контроля, прогноза и управления его состоянием. Моделирование природно-техногенных систем как принципиально новых типов систем производится на основании двуцелевого подхода (производственного и экологического) и ряда критериев, по которым, в конечном счете, и конструируются их модели.

Ключевые слова: природно-техногенная система, загрязнение подземных вод, геологическая среда, модель, мониторинг, подземные и поверхностные воды, загрязнение геологической среды.

Abstract. The optimization of monitoring natural-technogenical systems contacts to development and introduction of a technique of designing of models of researched systems as complex natural-technogenical of objects. For increase of efficiency of monitoring the especially steadfast attention is necessary to pay on its initial stage – a stage of organization, on which the model of investigated object is created and the technique of the control, forecast and management of its condition is defined. The modeling natural-technogenical systems as essentially new types of systems is made on the basis of the dual-purpose approach (industrial and ecological) and number of criteria, on which at the end and their models are designed.

Key words: natural-technogenic system, pollution of underground waters, geological environment, model, monitoring, underground and superficial waters, contamination of geological environment

Введение

Модель природно-техногенной системы «поля фильтрации ООО "Этанол-Спирт" – геологическая среда» конструировалась в соответствии с методикой моделирования ПТС [1–3]. Данная модель относится к моделям, построенным на основании многолетнего опыта ведения мониторинга геологической среды на различных промышленных объектах, опыт исследований на которых собственно и лежит в основе данных методических разработок. В этой статье рассматриваются вопросы структурного моделирования природно-техногенной системы на примере предприятия пищевой промышленности. Исследуемый объект представляет собой пример начальной стадии организации мониторинга природной среды для уже функционирующих объектов с измененными экологическими условиями.

В процессе производственной деятельности предприятий пищевой промышленности производятся разрешенные сбросы сточных вод в геологическую толщу и в водоёмы различного назначения. Для очистки загрязненных стоков в спиртовой промышленности до настоящего времени применяются гидротехнические очистные сооружения – поля фильтрации.

Нами рассмотрена ситуация сложившаяся на предприятии ООО «Этанол-Спирт», расположенном в Новохоперском районе Воронежской области.

ООО «Этанол-Спирт» представляет собой предприятие пищевой промышленности, конечным продуктом производства которого является спирт, производимый для фармацевтической промышленности и получаемый в результате переработки свекольной мелассы. Отход переработки свекольной мелассы – барда, поступает со сточными водами на поля фильтрации предприятия.

Санитарное и экологическое состояние подземных и поверхностных вод исследуемой территории

обусловлено многолетней эксплуатацией полей фильтрации ООО «Этанол-Спирт» на которые сбрасываются сточные воды предприятия и хозяйственные стоки с. Красное.

Поля фильтрации расположены на левом берегу р. Савала, в пределах первой и второй надпойменных террас, в 1600 м южнее площадки предприятия, и примыкают к северо-восточной окраине с. Некрылово. Общая площадь полей фильтрации составляет 84,03 га.

Геологическое строение исследуемой территории характеризуется развитием верхнечетвертичных аллювиальных (преимущественно песчаных с переслаиванием суглинков и глин) отложений мощностью 16–18 м и верхнечетвертичных (от песчаных до гравелистых в нижней части, с прослоями глин в верхней части разреза) отложений мощностью 12 м.

Подземные воды исследуемой территории приурочены к двум водоносным горизонтам: залегающему первым от поверхности – верхнечетвертичному водоносному горизонту и залегающему непосредственно под ним – неогеновому водоносному горизонту.

Глубина залегания уровня подземных вод в пределах влияния полей фильтрации 5,3–8,5 м, более высокие значения глубины связаны с более высоким геоморфологическим положением земной поверхности. Абсолютные отметки уровня подземных вод изменяются от 83,95 м (в западной части полей фильтрации) до 86,20 м (в 500 м восточнее полей фильтрации). В северной и южной части полей фильтрации абсолютные отметки положения уровня – 84,2 и 84,5 м.

Нижним водоупором неоген-четвертичного водоносного комплекса являются глины семилукского возраста.

Движение потока подземных вод в пределах исследуемого участка имеет северо-западное и западное направление и предопределяется дренирующим влиянием р. Савала. В пределах площади полей фильтрации, вероятно, имеет место радиальное растекание за счет подъема уровней грунтовых вод (при инфильтрации сточных вод за многолетний период эксплуатации очистных сооружений) и формирования небольшого техногенного гидрокупола.

Абсолютные отметки уровня в р. Савала составляют величины 82,6–83,0 м. Незначительное превышение положения уровня подземных вод в пределах полей фильтрации над уровнем поверхностного водотока свидетельствует о низком гидравлическом градиенте.

Проблемы эксплуатации полей фильтрации ООО «Этанол-Спирт»

В процессе многолетней эксплуатации полей фильтрации спиртопроизводства производились неоднократные регулярные сбросы загрязнённых сточных вод предприятия и стоков с. Красное в грунтовую толщу. В результате произошло существенное загрязнение подземных вод исследуемой территории.

Исследования химического состава подземных вод, проведённые авторами летом 2011 г. в сравнении с предыдущими результатами исследований, выполненными ОАО «Геоцентр-Москва» ТЦ «Воронеж-Геомониторинг» в 2009 г., показали, что в подземных водах неоген-четвертичного водоносного комплекса по ряду компонентов продолжают сохраняться высокие показатели концентрации, значительно превышающие ПДК.

Анализируя эколого-гидрогеологическую ситуацию следует отметить, что в подземных водах исследуемой территории наблюдаются высокие значения сухого остатка 3375,0–5712,0 мг/дм³, отмечаются также высокие концентрации аммония 272,0–510,0 мг/дм³, высокие значения ХПК 944,8–1520,0 мг/дм³, БПК₅ 415–778 мгО₂/л, хлоридов 368,7–1389,6 мг/дм³ и некоторых других компонентов. Общая гидрогеохимическая ситуация с наличием аномалий по ряду показателей свидетельствует о высокой техногенной нагрузке на геологическую среду.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что эксплуатация полей фильтрации спиртопроизводства привела к нарушению устойчивости геологической среды и появлению экологической проблемы связанной с накоплением в грунтовой толще и особенно в подземных водах минеральных и органических веществ, и соединений, концентрации которых в значительной степени превышают ПДК.

В связи с этим необходимо обозначить водные объекты, которые находясь в непосредственной близости с объектом техногенного влияния, являются потенциально подверженными загрязнению – воды реки Савала, в которые может происходить естественное дренирование загрязнённых вод неоген-четвертичного водоносного комплекса. А так же воды нижележащих водоносных горизонтов, загрязнение которых может происходить за счёт процессов гравитационной дифференциации (плотностного осаждения) вещества и процессов диффузии.

В настоящий момент времени на исследуемом участке ведутся периодические наблюдения за состоянием геологической среды по имеющейся сети наблюдательных скважин, которые расположены по контуру полей фильтрации спиртопроизводства, и поэтому не несут в себе достаточной информации о распространении загрязнения в геологической среде на исследуемом участке в целом. В этом аспекте авторами статьи была разработана структурно – иерархическая модель природно-техногенной системы «поля фильтрации ООО «Этанол-Спирт» – геологическая среда», которая может являться основой оптимизация мониторинга данной ПТС.

Процедура вовлечения элементов в ПТС

В техногенную подсистему моделируемой ПТС «поля фильтрации ООО «Этанол Спирт» – геологическая среда» вошли сооружения (техногенные объекты), которые подлежат контролю в силу их ответственной значимости для самого предприятия, гидротехнические очистные сооружения –

поля фильтрации и сети коммуникаций: бардопровод, канализация стоков.

Из природных элементов, выполняющих **производственную** функцию, в соответствии с выбранными критериями [1, 3] в систему вовлекаются:

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса, служащие для питьевого и хозяйственного водоснабжения предприятия;

– поверхностные воды реки Савала служащие для технологических целей;

– четвертичные отложения (по литологии – суглинки, пески и глины) в качестве грунтовых оснований гидротехнических очистных сооружений предприятия, вместилища подземных коммуникаций и фильтрующего материала в основании полей фильтрации.

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

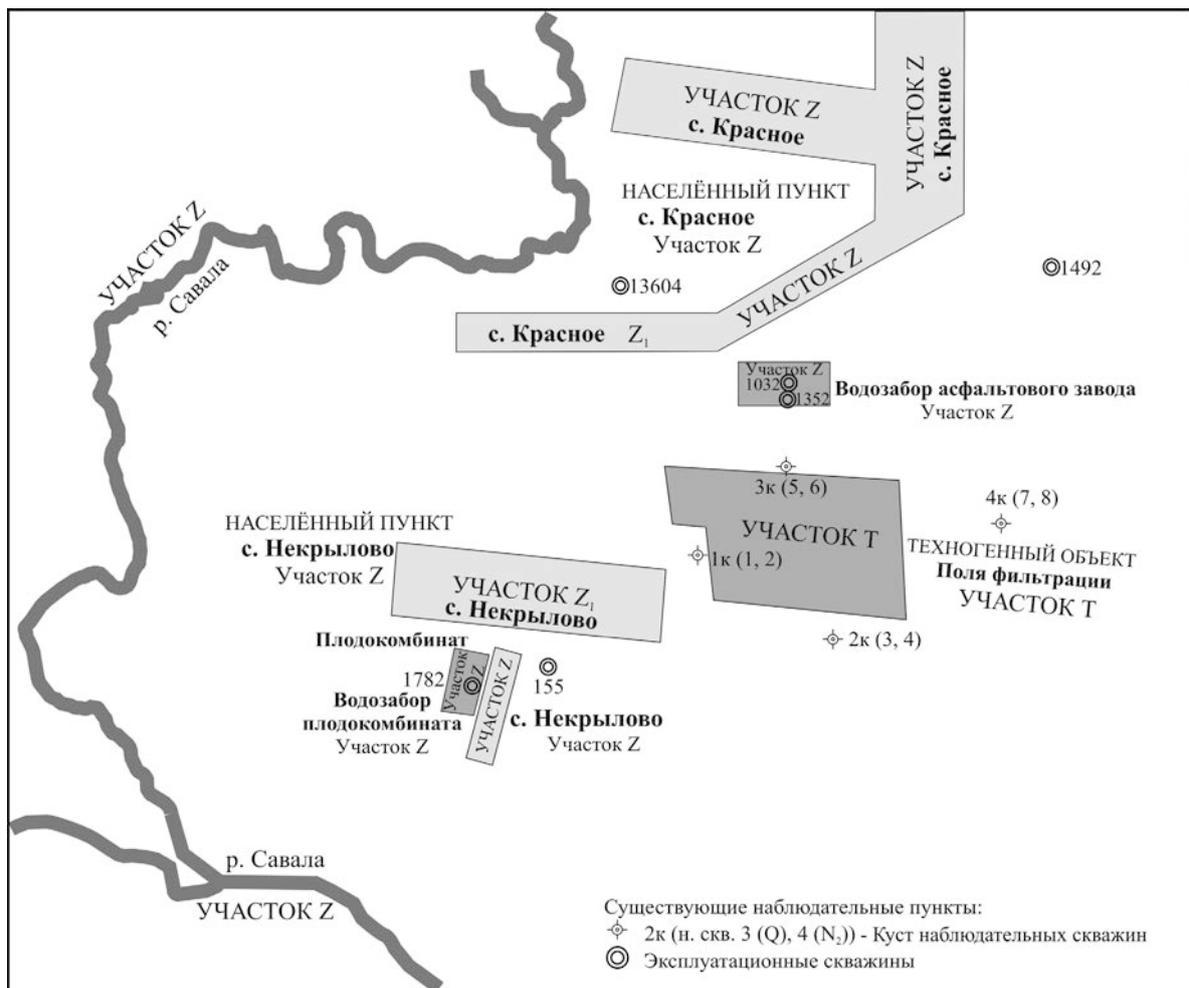


Рис. 1. Схема расположения полей фильтрации предприятия ООО «Этанол-Спирт» и защищаемых объектов

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

– четвертичные отложения и подземные воды четвертичного водоносного горизонта в пределах контура полей фильтрации;

– неогеновые отложения и подземные воды неогенового водоносного горизонта в пределах контура полей фильтрации загрязненные в силу их тесной гидравлической связи с загрязненными четвертичными водами.

Данные объекты испытывают первоочередное техногенное влияние в силу их близкого залегания от земной поверхности. 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 четвертичного горизонта, смежного с участком, расположенным в пределах контура полей фильтрации;

– подземные воды участка неогенового горизонта, залегающего непосредственно под четвертичным горизонтом, смежного с участком, расположенным в пределах контура полей фильтрации.

Данные участки будем условно именовать **участками «СТ»** (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 Савала (северное течение) – крупный водоток Новохопёрского района;

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса на участке водозабора асфальтового завода с. Красное (питьевое и хозяйственное водоснабжение);

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса на участке водозабора плодокомбината с. Некрылово (питьевое и хозяйственное водоснабжение);

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса в юго-западной и северо-восточной части с. Красное используемые для частного водоснабжения с помощью колодцев и одиночных эксплуатационных скважин;

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса в северной и центральной части с. Некрылово, используемые для частного водоснабжения с помощью колодцев и одиночных эксплуатационных скважин.

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 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:

– подземные воды четвертичного водоносного горизонта участка примыкающего к р. Савала в пределах вектора техногенного влияния;

– подземные воды неогенового водоносного горизонта участка примыкающего к р. Савала в пределах вектора техногенного влияния;

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса участка примыкающего к участку питьевого водозабора асфальтового завода с. Красное в пределах вектора техногенного влияния;

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса участка примыкающего к участку питьевого водозабора плодокомбината с. Некрылово в пределах вектора техногенного влияния;

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса участков примыкающих к юго-западной и северо-восточной части с. Красное в пределах вектора техногенного влияния;

– подземные воды неоген-четвертичного водоносного комплекса участков примыкающих к северной и центральной части с. Некрылово 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 не выделения, между участками T и Z.

Данные участки будем условно именовать **участками «Р»** (латинская литера указывает на их отнесение к переходным участкам). Переходный участок может выделяться, по результатам дополнительных исследований и на начальной стадии – необязателен.

6. 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 ПТС «поля фильтрации ООО "Этанол-спирт" – геологическая среда» представлена на рис. 2. Дополнительно в систему включены атмосферные осадки, почвы – грунты и биотические компоненты как факторы преобразования геологической среды исследуемой территории, а также гидротехнические системы контроля.

Следует отметить, что данная модель состава системы является открытой и, следуя принципу полноты модели [4], в систему может быть включен блок «дополнение». Другими словами, элементный 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 T, 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 ПТС

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 отношении статического и динамического сонахождения с элементами природной среды. Со стороны техногенного объекта существует 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 (полей фильтрации). 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 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 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 неогеновый

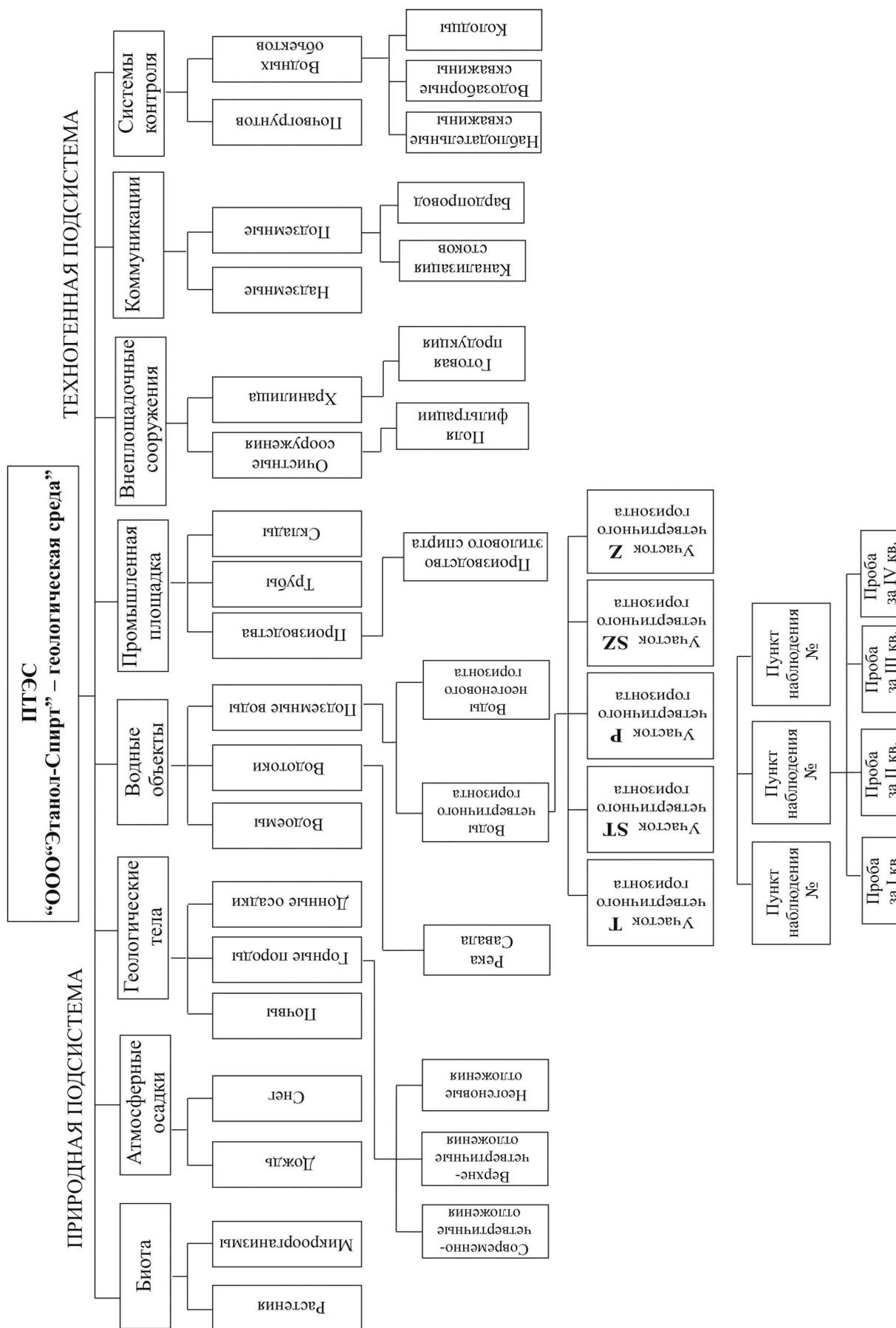


Рис. 2. Модель состава и иерархические уровни организации ПТС «поля фильтрации ООО "Этанол-Спирт" – геологическая среда»

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.

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. Савала дренирует воды неоген-четвертичного водоносных комплекса) и в форме искусственного дренирования за счет работы водозаборных сооружений, оборудованных на неогеновый 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 ПТС, определяемых сложившимися геолого-гидрогеологическими условиям 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 ПТС «поля фильтрации ООО "Этанол-Спирт" – геологическая среда»

Исследуемая система «функционирует» следующим образом.

Для осуществления своей производственной деятельности предприятие использует природные ресурсы: поверхностную воду для технологических целей (р.Савала), подземную воду для питьевых и хозяйственных целей (неоген-четвертичного водоносного комплекса), грунтовую толщу в качестве оснований и вместилища инженерных сооружений, а также в качестве фильтрационной среды (поля фильтрации).

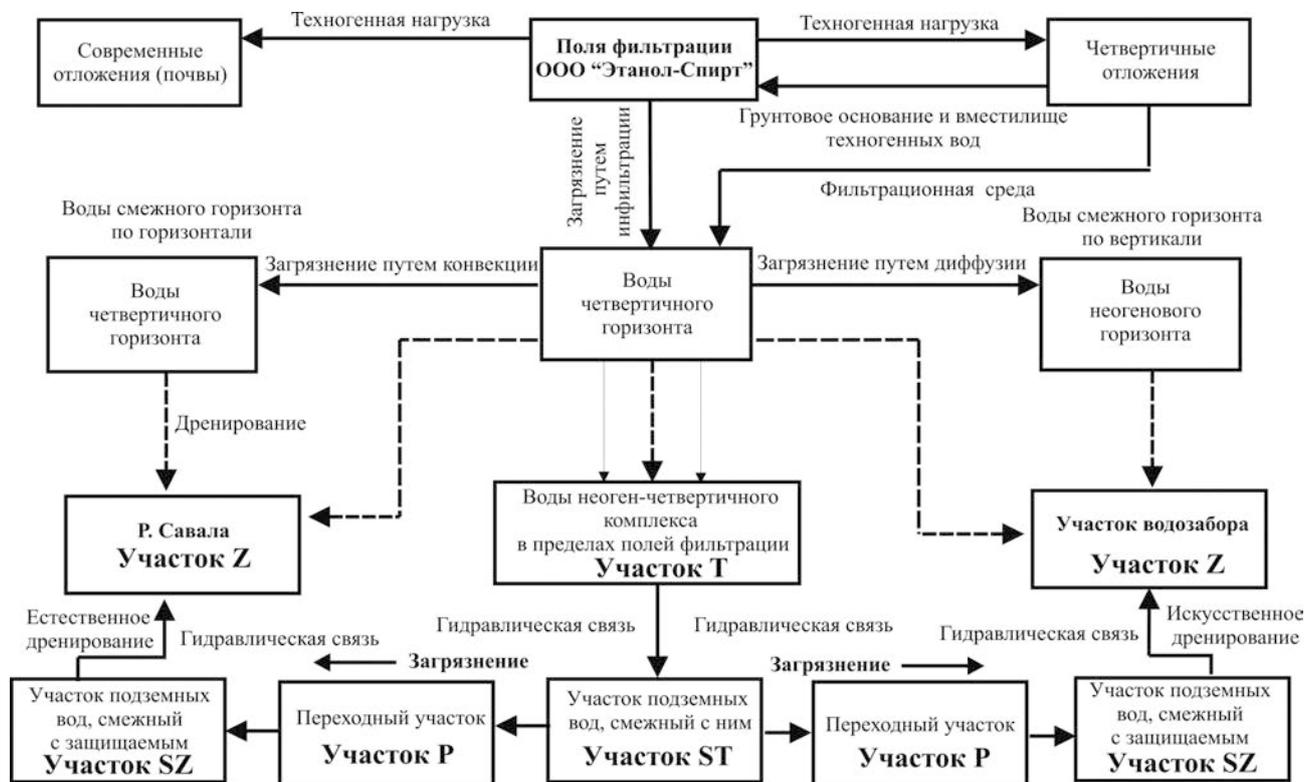


Рис. 3. Связи и отношения основных элементов ПТС «поля фильтрации ООО "Этанол-Спирт" – геологическая среда» (принципиальная схема)

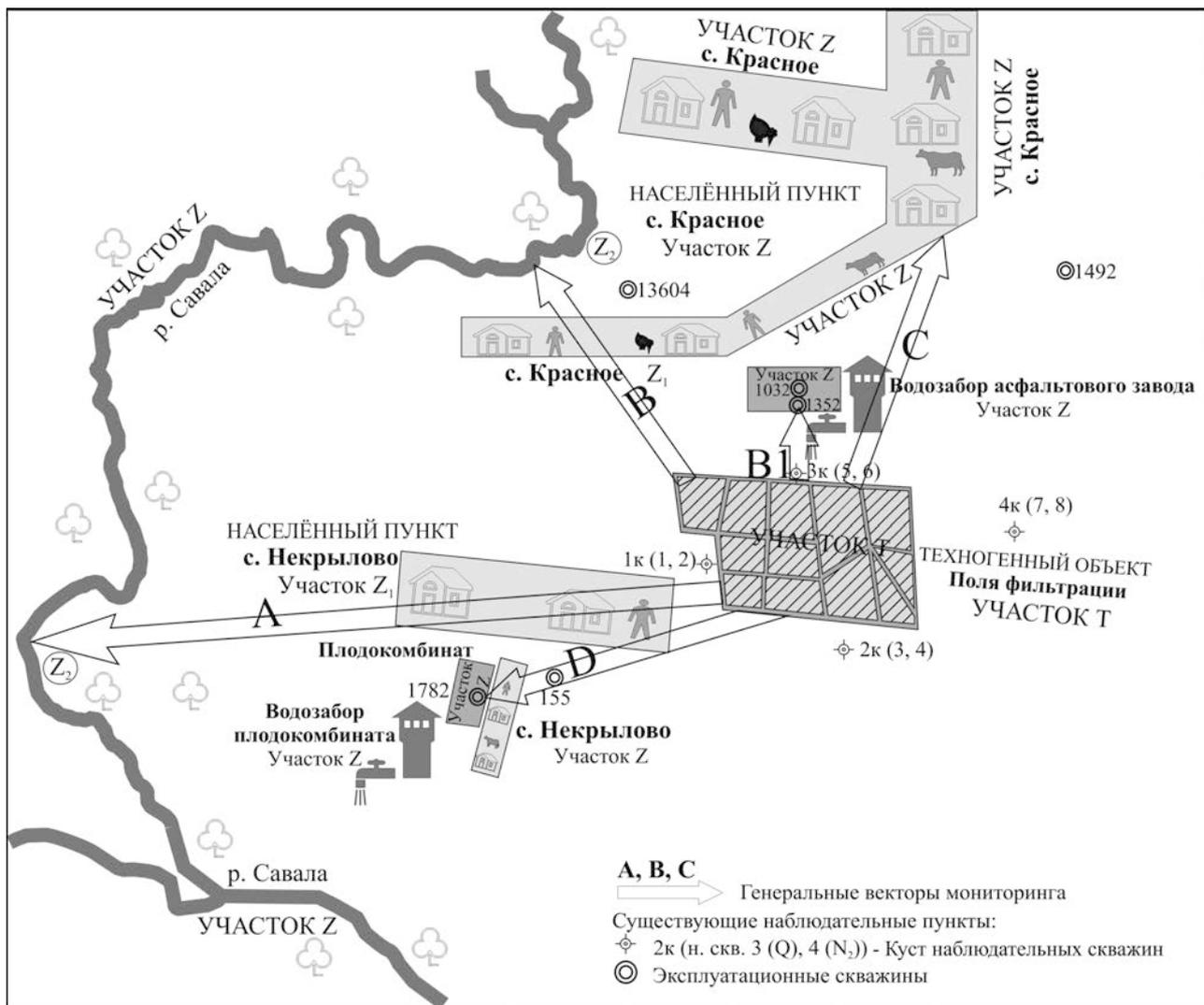


Рис. 4. Модель ПТС «поля фильтрации ООО "Этанол-Спирт" – геологическая среда» в граничных объектах и генеральные вектора мониторинга

Таким образом, в процессе функционирования природно-техногенной системы «поля фильтрации ООО "Этанол-Спирт" – геологическая среда» оказываются, задействованы не только материально-технические и людские ресурсы (в данном случае рассматриваются отдельно от остальной природной составляющей), но и элементы природной среды – геологические тела, водные объекты.

В случае выхода системы из равновесного состояния, ее возврат в устойчивое равновесие, обеспечивающее нормальное функционирование системы (выполнение своей **производственной** функции) осуществляется системой административно-технического контроля и управления. Что позволяет данной промышленной системе успешно работать.

Конструируемая экспертами-исследователями природно-техногенная система «поля фильтрации

ООО "Этанол-Спирт" – геологическая 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 геологической среды контролируется группой специалистов (экспертами-исследователями). В случае выхода системы из равновесия (реального или ожидаемого), исследователи ПТС 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 ПТС – участка «Т» (в основном за счет инфильтрации техногенных вод). Далее, благодаря прямой гидравлической связи данного элемента с элементом ПТС – 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 ПТС – 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 ПТС специалистами, осуществляющими мониторинг данной ПТС по определенным критериям гомеостазиса системы. В случае если защищаемые элементы геологической среды – участки «Z», по своему состоянию отвечают требованиям экспертной модели устойчивости ПТС 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 фун-

кционирование системы подвергается корректировке («ремонт») соответствующими службами (это могут быть производственные или надзорные органы) на основании рекомендаций экспертов по мониторингу.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Зинюков Ю. М. Методические основы конструирования и анализа структурно-иерархических моделей природно-технических экосистем / Ю. М. Зинюков // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 2001. – № 1. – С. 210–222.
2. Бочаров В. Л. Мониторинг природно-технических экосистем / Ю. М. Зинюков, Л. А. Смоляницкий. – Воронеж : Истоки, 2000. – 226 с.
3. Зинюков Ю. М. Теоретико-методологические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей / Ю. М. Зинюков // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского госуниверситета. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – Вып. 28. – 164 с.
4. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М. : Высш. шк., 1989. – 367 с.

Воронежский государственный университет

Ю. М. Зинюков, кандидат технических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

Тел. 8-908-134-77-39

zinykov209@yandex.ru

А. В. Золотарев, научный сотрудник кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии

Тел. 8-920-410-23-96

avzolota@mail.ru

Voronezh State University

Yu. M. Zinyukov, Candidate of Technical Sciences, senior lecturer of chair of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology

Tel. 8-908-134-77-39,

zinykov209@yandex.ru

A. V. Zolotarev, a research worker, of chair of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology

Tel. 8-920-410-23-96

avzolota@mail.ru