

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ТЕХНОГЕННО-НАГРУЖЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

И. И. Косинова*, В. П. Закусилов**, Д. А. Белозеров*

**Воронежский государственный университет*

***Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина (г. Воронеж)*

Аннотация. В статье представлена методика интегральной оценки трансформации приповерхностных водоносных горизонтов для техногенно-нагруженных территорий. Данная методика учитывает особенности как природных, так и техногенных факторов, среди которых мощность и особенности литологического строения зоны аэрации, размещение и интенсивность проявления источников загрязнения, эколого-гидрогеохимическая оценка состояния водоносных горизонтов. Разработанная методика апробирована на примере крупного предприятия химической промышленности ОАО «Минудобрения». В ходе исследования выявлена область определения методики, произведена оценка трансформации подземных вод на указанной территории, обоснована система геоэкологического мониторинга.

Ключевые слова: техногенно-нагруженная территория; трансформация подземных вод; суммарный показатель загрязнения (СПЗ); защищенность водоносных горизонтов; комплексная методика оценки; предприятие химической промышленности, мониторинг.

Abstract. The paper presents a new complex assessment method of groundwater transformation in technogenically loaded territories. It takes into account influence of both natural and anthropogenic factors, including the thickness and lithology characteristics of the aeration zone, placement and intensity of sources pollution, ecology-hydrogeochemical assessment of the aquifers. The developed method was tested on a large chemical enterprises of JSC «Minudobreniya». The domain of definition of the method was revealed, the groundwater transformation was estimated during the investigation, proposed geoecological monitoring scheme.

Key words: technogenically loaded territory; groundwater transformation; summary index of pollution (SIP); aquifer protectability; complex assessment method; chemical industry plant; monitoring

Введение

Экологическая политика России во многом базируется на концепции устойчивого развития, то есть стабильном социально-экономическом развитии, не разрушающим своей природной основы. Россия является одним из крупнейших производителей продукции химической промышленности, особенно минеральных удобрений. Их производство ведет к негативному влиянию на все компоненты природной среды. Согласно исследованиям наиболее значительное влияние испытывают подземные воды.

Пресные подземные воды относятся к стратегическим видам полезных ископаемых, поскольку являются как приоритетными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, так и единственным источником питьевого водоснабжения на период чрезвычайных ситуаций.

Говоря о деградации состава подземных вод в районах крупных химических предприятий надо отметить, что по результатам исследований В.М. Гольдберга, А.Я. Смирновой, К.Е. Питьевой и др., происходит не просто ухудшение состояния вод, но и значительное их преобразование. Это проявляется в кардинальном изменении химического состава подземных вод, формировании новых эколого-гидрогеохимических обстановок на значительной площади [1, 2], т.е. происходит «техногенная трансформация водоносных горизонтов», под которой предлагается понимать преобразование количественных и качественных параметров водоносных горизонтов в результате техногенного воздействия, формирующее новые эколого-гидродинамические и/или эколого-гидрогеохимические обстановки. В таких условиях, для оценки состояния и защиты подземных вод необходимо произвести оценку их трансформации.

Применяемые в настоящее время методики обладают следующими недостатками:

© Косинова И. И., Закусилов В. П., Белозеров Д. А., 2013

– отсутствие комплексной оценки состояния водоносных горизонтов, т.е. учитывается или природная, или техногенная составляющая.

– очень низкая точность оценки загрязнения ввиду отсутствия учета многих факторов сорбции загрязняющих веществ.

В последние десятилетия в России растет число новых предприятий, многие промышленные объекты увеличивают свое производство путем строительства и ввода в эксплуатацию новых мощностей. Обязательным условием осуществления данных видов строительства является производство инженерных изысканий. Причем, при проведении изысканий на техногенно-нагруженных территориях обязательной является оценка состояния водоносного горизонта [8,9], которая реализуется в виде анализа агрессивности, засоленности, коррозионной активности подземных вод к предполагаемым типам фундаментов. В рамках инженерно-экологических изысканий осуществляется более детальная оценка подземных вод [9]. Тем не менее, в практике изысканий она осуществляется по основным загрязняющим компонентам, в редких случаях производится оценка по суммарному показателю загрязнения. Преимущественно, в ходе проведения гидрогеологических исследований, дается оценка защищенности водоносного горизонта. Однако, ни в одном из видов изысканий не дается интегральная оценка техногенной трансформации подземных вод (включающая и природную и техногенную составляющую) ввиду отсутствия методики данной оценки.

Цель работы – разработка методики интегральной оценки трансформации приповерхностных водоносных горизонтов техногенно-нагруженных территорий как основы природоохранной деятельности.

Задачи исследования:

1) Разработать методику интегральной оценки трансформации приповерхностных водоносных горизонтов;

2) Дать оценку трансформации приповерхностных водоносных горизонтов для конкретного предприятия;

3) Разработать элементы природоохранной деятельности предприятия на основе интегральной оценки трансформации подземных вод.

Актуальность разработки методики интегральной оценки приповерхностных водоносных горизонтов определяется в пределах техногенно-нагруженных территорий, с одной стороны, значительным механическим и физико-химическим преоб-

разованием грунтов зоны аэрации; с другой – масштабным загрязнением подземных вод широким спектром элементов различных классов опасности. Для реализации данной методики обязательным условием является согласование инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. То есть, ряд исследований необходимо производить в ходе инженерно-геологических изысканий.

Методика исследования

Формирование качества подземных вод происходит в результате воздействия природных и техногенных факторов. Для внедрения экологических мероприятий по охране окружающей среды, а также разработки системы объектового геоэкологического мониторинга, среди них следует выделять главные и второстепенные. В зависимости от геологических, гидрогеологических, геоморфологических и иных условий главные и второстепенные факторы формирования качества подземных вод могут варьировать [7].

Применительно к Центрально-Черноземному региону России, к главным факторам, определяющим состояние водоносного горизонта, предлагается отнести природную защищенность и уровень техногенного загрязнения. Причем, каждый из обозначенных факторов является комплексным.

Второстепенные факторы включают особенности геоморфологического строения территории, состояние поверхностных вод и донных отложений, климатические особенности, состояние атмосферы. Учет и оценка второстепенных факторов необходимы для формирования системы геоэкологического мониторинга и разработки системы экологического менеджмента предприятия.

Интегральная оценка трансформации подземных вод с учетом природных и техногенных факторов до настоящего времени не производилась, ввиду отсутствия методики оценки. В этой связи, предлагается новая методика интегральной оценки техногенной трансформации подземных вод в зоне влияния предприятий химической промышленности, которая включает в себя основные блоки:

Блок А) Выделение ведущих загрязняющих компонентов (для этого анализируется уровень загрязнения подземных вод и выявляются ведущие загрязняющие компоненты).

Блок В) Расчет суммарных показателей загрязнения с учетом класса опасности ЗВ.

Блок С) Расчет природной защищенности подземных вод [4].

Блок Д) Оценка уровней техногенной трансформации водоносных горизонтов техногенно-нагруженных территорий.

Блок Е) Картографическое моделирование эколого-гидрогеохимической ситуации на основе результатов, полученных в блоке Д.

Согласно проведенным исследованиям, для предприятий химической промышленности региона наиболее распространенными загрязнителями подземных вод являются элементы 3–4 класса опасности.

Алгоритм оценки уровней техногенной трансформации водоносных горизонтов определяется рядом операций:

1) Интегрирование суммарного показателя загрязнения (СПЗ) и показателей защищенности в балльной форме. Информационные поля, объединяющие данные по оценке защищенности подземных вод и уровням их загрязнения, отличаются как по показателям, так и по методам их оценок. Первый блок данных объединяет сведения о литологическом строении зоны аэрации, ее мощности, глубинам залегания подземных вод. Следует подчеркнуть роль литологического фактора при оценке природной защищенности. Именно наличие песчаных, глинистых, плотных либо трещиноватых полускальных и скальных пород определяет процессы миграции элементов-загрязнителей в разрезе. Суммарный показатель загрязнения, в свою очередь, интегрирует данные по его количественным показателям и, опосредованно отражает физико-химические условия массопереноса вещества. Для интегрирования обозначенного комплекса информации природного и техногенного происхождения использован балльный подход. Так интегрированный балл защищенности (Бз') предлагается рассчитывать путем соотнесения определенного балла защищенности с максимальным уровнем защищенности, равным 25. Высоким уровнем защищенности подземных вод для Центрально-Черноземного региона является защищенность с суммой

баллов, рассчитанной по методике Гольдберга, 25 и более. Однако, в соответствии с данными мониторинга состояния окружающей среды в ЦЧР, около 82% территории области приурочено к защищенности менее 25. В этой связи, при расчете баллов защищенности он нормируется на 25. Баллы суммарного показателя загрязнения принимаются согласно существующей методике (Косинова И.И. 2004 г.) [6].

В результате предлагается выделить 5 уровней техногенной трансформации подземных вод, что соответствует 5 уровням загрязнения по СПЗ и 5 категориям защищенности. Причем каждому выделенному уровню соответствует расчетное значение баллов защищенности и СПЗ, которые при подобном подходе можно сравнивать и совместно оценивать. Общее количество баллов отражает уровень трансформации гидросферы.

2) Загрязнение подземных вод напрямую связано с наличием источников загрязнения. Однако, весьма существенным дополнительным фактором является приуроченность к участкам с различным уровнем защищенности. Корреляционный анализ позволил установить связь между защищенностью и СПЗ. Для исследуемого региона была проанализирована выборка данных показателей, включающая более 700 значений. Коэффициент корреляции [3] составил -0,62.

В результате регрессионного анализа [3, 5] были получены уравнения регрессии, определяющие соотношение показателей баллов СПЗ (СПЗ') и баллов защищенности (Бз').

$$\text{СПЗ}' = 1,132\text{Бз}' - 0,294. \quad (1)$$

3) Уровни трансформации (Ут) рассчитываются путем суммирования показателей баллов защищенности и суммарного показателя загрязнения, рассчитанных с помощью уравнения 1 (таблица 1).

Таблица 1

Уровни трансформации водоносных горизонтов

Уровни трансформации водоносных горизонтов	Расчетная величина (СПЗ') (для 3,4-го классов опасности)	Баллы защищенности (Бз')	Уровни трансформации в баллах (Ут)
Минимальный	$\text{СПЗ}' < 1,14$	$\text{Бз}' < 1,25$	$0 \leq \text{Ут} < 2,39$
Низкий	$1,14 \leq \text{СПЗ}' < 4,67$	$1,25 \leq \text{Бз}' < 1,67$	$2,39 \leq \text{Ут} < 6,34$
Средний	$4,67 \leq \text{СПЗ}' < 9,09$	$1,67 \leq \text{Бз}' < 2,50$	$6,34 \leq \text{Ут} < 11,59$
Высокий	$9,09 \leq \text{СПЗ}' < 13,51$	$2,50 \leq \text{Бз}' < 5,00$	$11,59 \leq \text{Ут} < 18,51$
Максимальный	$\text{СПЗ}' \geq 13,51$	$\text{Бз}' \geq 5,00$	$\text{Ут} \geq 18,51$

4) Для каждой скважины, в рамках системы мониторинга или инженерно-геологической, производится оценка уровня интегральной трансформации водоносного горизонта.

5) Картографическое построение осуществляется по граничным показателям трансформации водоносных горизонтов.

Полученные карты служат основой для оценки существующего состояния и потенциальной возможности трансформации гидросферы.

Таким образом, предлагаемая методика интегральной оценки техногенной трансформации водоносных горизонтов характеризуется следующими достоинствами:

1) Позволяет оценить интегральный уровень трансформации водоносных горизонтов;

2) Учитывает природное загрязнение, техногенное загрязнение, глубину залегания подземных вод, тип пород и мощность зоны аэрации, характер и мощность слабопроницаемых пород;

3) Дает комплексную оценку состояния геоэкологической системы по компоненту подземные воды.

Результаты исследований

Разработанная методика комплексной оценки трансформации верхних водоносных горизонтов техногенно-нагруженных территорий была апробирована на крупнейшем предприятии Воронежской области ОАО «Минудобрения».

Картографическое моделирование территории ОАО «Минудобрения» позволило выявить основные направления трансформации водоносного горизонта.

Так, в I полугодии 2006 года основные производственные сооружения и пруды-накопители лежали в области максимального уровня трансформации гидросферы. Вся территория, приуроченная к пойме реки Черная Калитва а также район 1-й надпойменной террасы на левом берегу водотока приурочен к высокому уровню деградации подземных вод.. В целом, большая часть изучаемой территории находится в области высокого уровня преобразования (рис. 1).

II полугодие 2006 года характеризуется относительным увеличением площади максимального

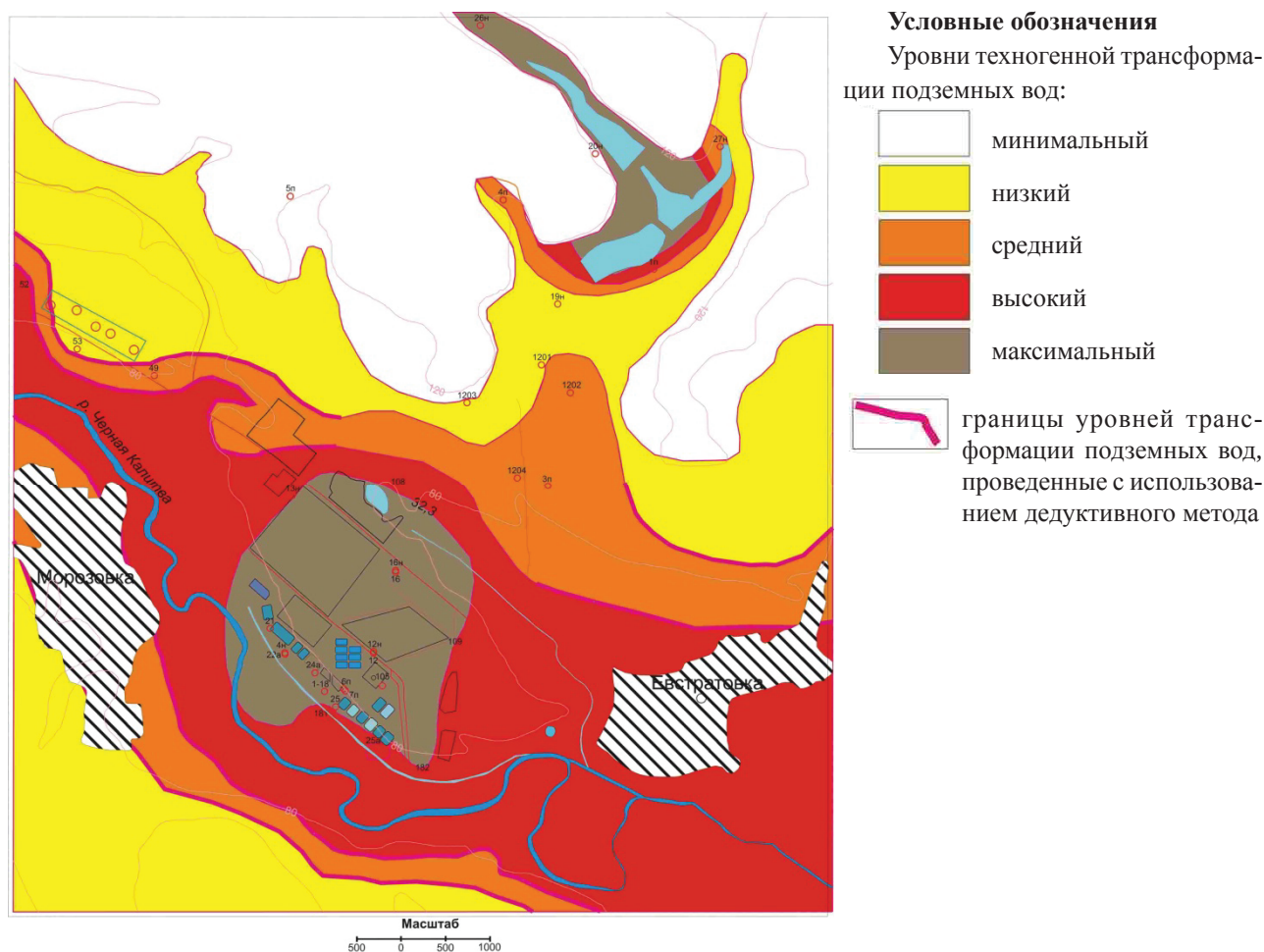


Рис. 1. Схема трансформации подземных вод в I полугодии 2006 года

уровня деградации водоносных горизонтов до 5232,7 баллов, в связи с увеличением объема производства. Наиболее распространенное состояние гидросферы относится к высокому уровню преобразования.

В I полугодии 2007 года ситуация осталась без значительных изменений. Область среднего уровня преобразования подземных вод переместилась еще севернее, а максимальные значения баллов трансформации по-прежнему остались в районе скважины 16Н и составили 4732,5. Площади с максимальным и минимальным уровнем соответственно составили 9,26 км² и 0 км².

Для II полугодия 2007 года характерно слабое изменение состояния подземных вод. Высокий уровень трансформации гидросферы является ведущим на изучаемой территории. Если для центральной производственной части ситуация практически не изменилась, то в районе прудов-накопителей площадь с максимальным уровнем трансформации увеличилась на 13%, в связи с производством большего объема продукции. Площадь самого высокого уровня трансформации гидросферы составила 9,45 км² (наибольшее значение за весь рассматриваемый период) (рис. 2).

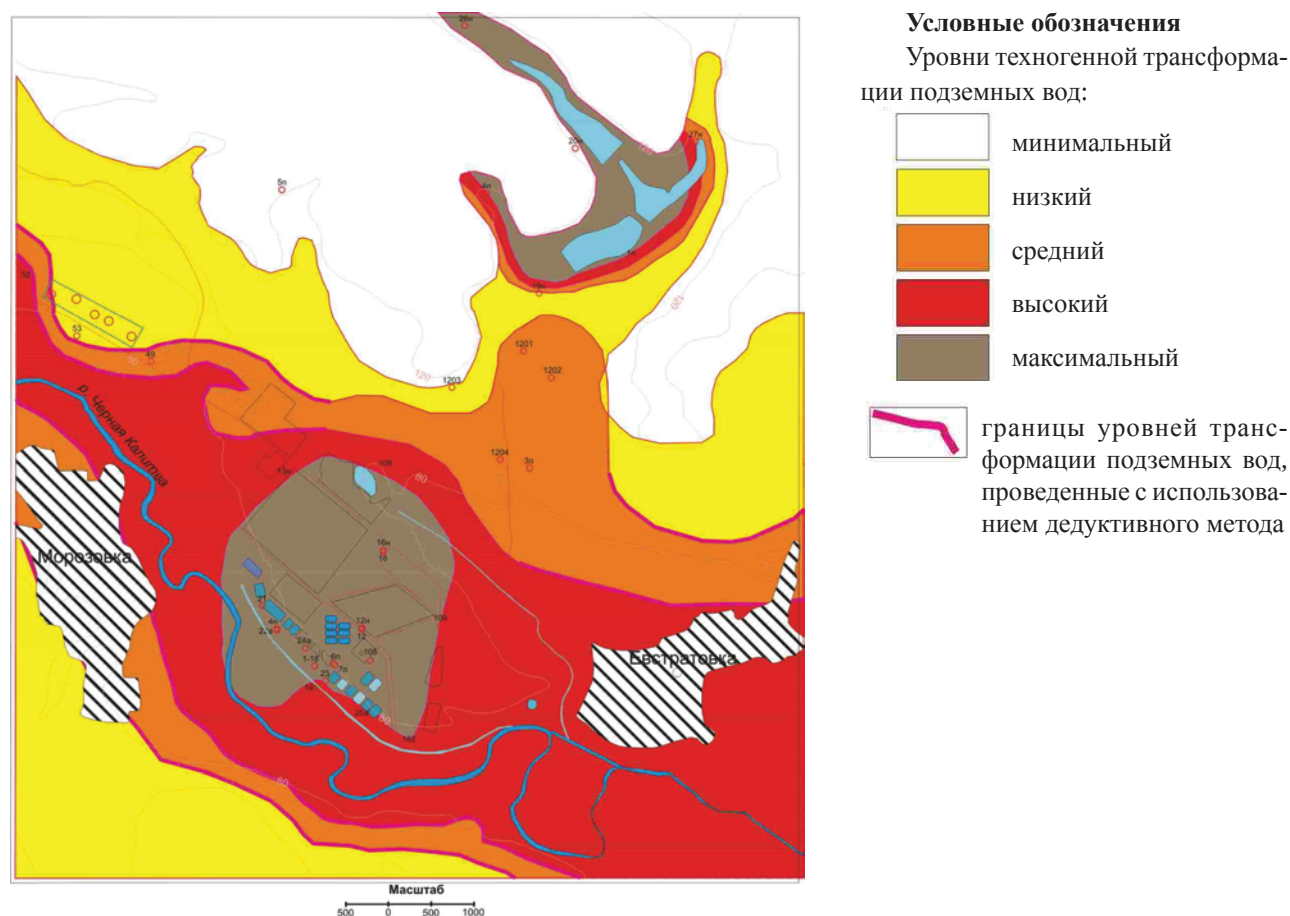


Рис. 2. Схема трансформации подземных вод во II полугодии 2007 года

В мае 2010 года отмечается заметное изменение уровня трансформации гидросферы. В северной части карты отмечается отсутствие максимальной и высокой степени деградации подземных вод. Самое низкое значение баллов составило 2,8. В целом, состояние гидросферы улучшилось, что является безусловным следствием почти семикратного увеличения по сравнению с 2009 годом, и одиннадцати кратного увеличения по сравнению с 2006 годом, затрат на капитальный ремонт основ-

ных производственных фондов по охране окружающей среды. Площадь максимального уровня деградации гидросферы равна 6,44 км².

Далее, в августе 2010 года, произошло усиление преобразования гидросферы северной части карты. В центральной области максимальный и высокий уровень трансформации остались практически без изменений, в отличие от среднего и низкого уровня, по которым отмечается соответственно увеличение на 0,56 км² и уменьшение на 1,59 км². В

районе отстойников появилась область (0,43 км²) с высоким уровнем трансформации водоносного горизонта. Это объясняется аномально высокими летними температурами, что в свою очередь при-

вело к значительному испарению воды из отстойников и увеличению концентраций загрязняющих веществ (рис. 3).

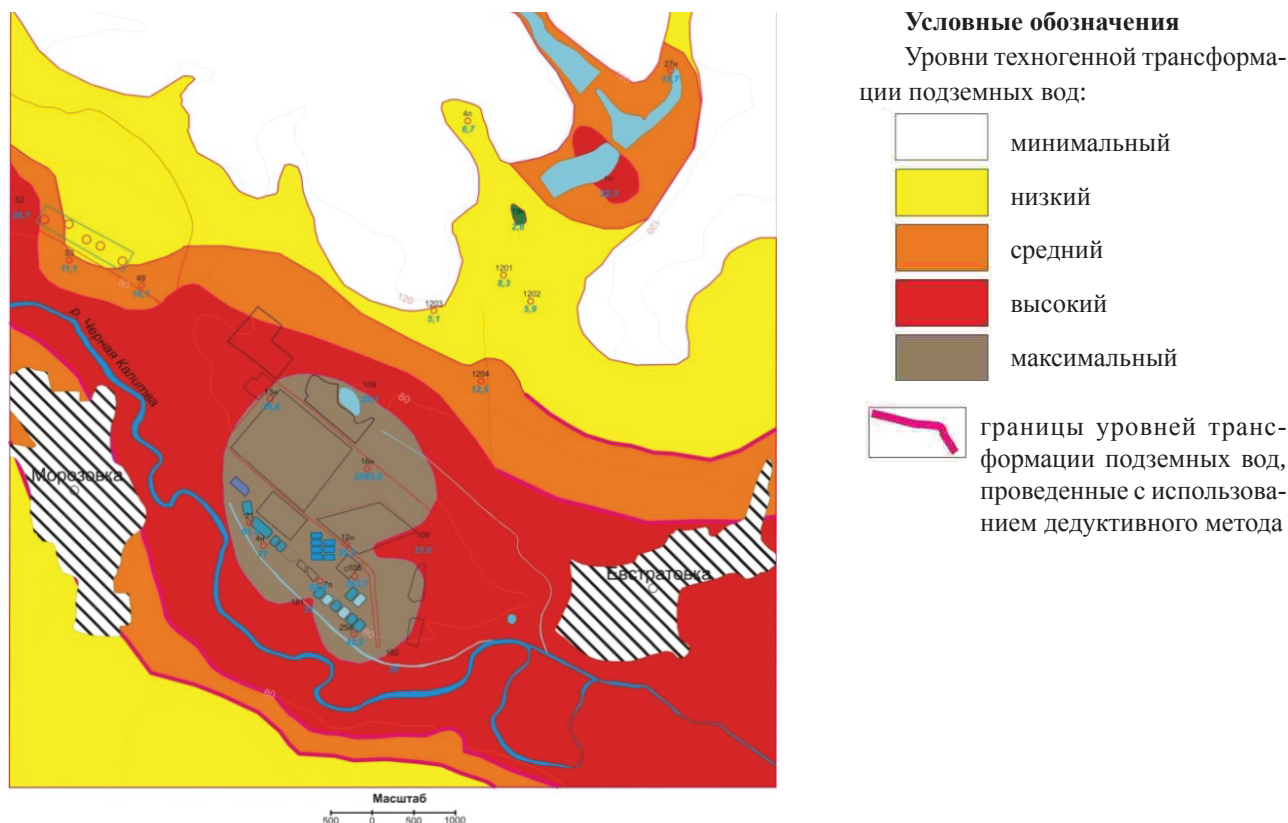


Рис. 3. Схема трансформации подземных вод в августе 2010 года

Октябрь 2010 года - период максимального распространения высокого уровня трансформации подземных вод, площадь которого составила 26,78 км². Фиксируется тенденция расширения ореола преобразования водоносных горизонтов в северном и юго-западном направлениях. В области отстойников территория средней трансформации гидросферы увеличилась на 54 % и расширилась на север и особенно на юго-запад района.

На январь 2011 пришелся пик площади максимальной трансформации подземной гидросферы в области промышленной площадки (8,18 км²). Отмечается сокращение территории с высоким уровнем деградации в районе прудов-накопителей. Преобладает высокая степень преобразования водоносных горизонтов. Участок с минимальным уровнем деградации отсутствует, а на низкий приходится 10,25 км² (рис. 4).

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- за рассматриваемый промежуток времени, с 2006 по 2011 года, выявлено, что основным по площади распространения уровнем преобразова-

ния подземных вод является высокий, характеризующийся загрязнением от 0 до 10,1 СПЗ;

- высокие и максимальные баллы трансформации (от 12,5 до 5000) подземных вод приурочены к центральной промышленной площадке, каскаду прудов-накопителей, а также к пойме и первой надпойменной террасе реки Черная Калитва;

- выявлено, что по низкому уровню преобразования отмечается тренд на уменьшение ореола распространения, а по среднему и высокому – на увеличение;

- загрязнение снеговых и донных отложений относительно подземных вод невелико и достигает соответственно 15-кратного превышения фонового значения и пятикратного превышения ПДК;

- интегральная оценка трансформации подземных вод легла в основу формирования схемы экологического мониторинга.

Оценка трансформации продуктивного водоносного горизонта позволила выявить основные проблемные зоны района размещения ОАО «Минудобрения», что дает возможность:

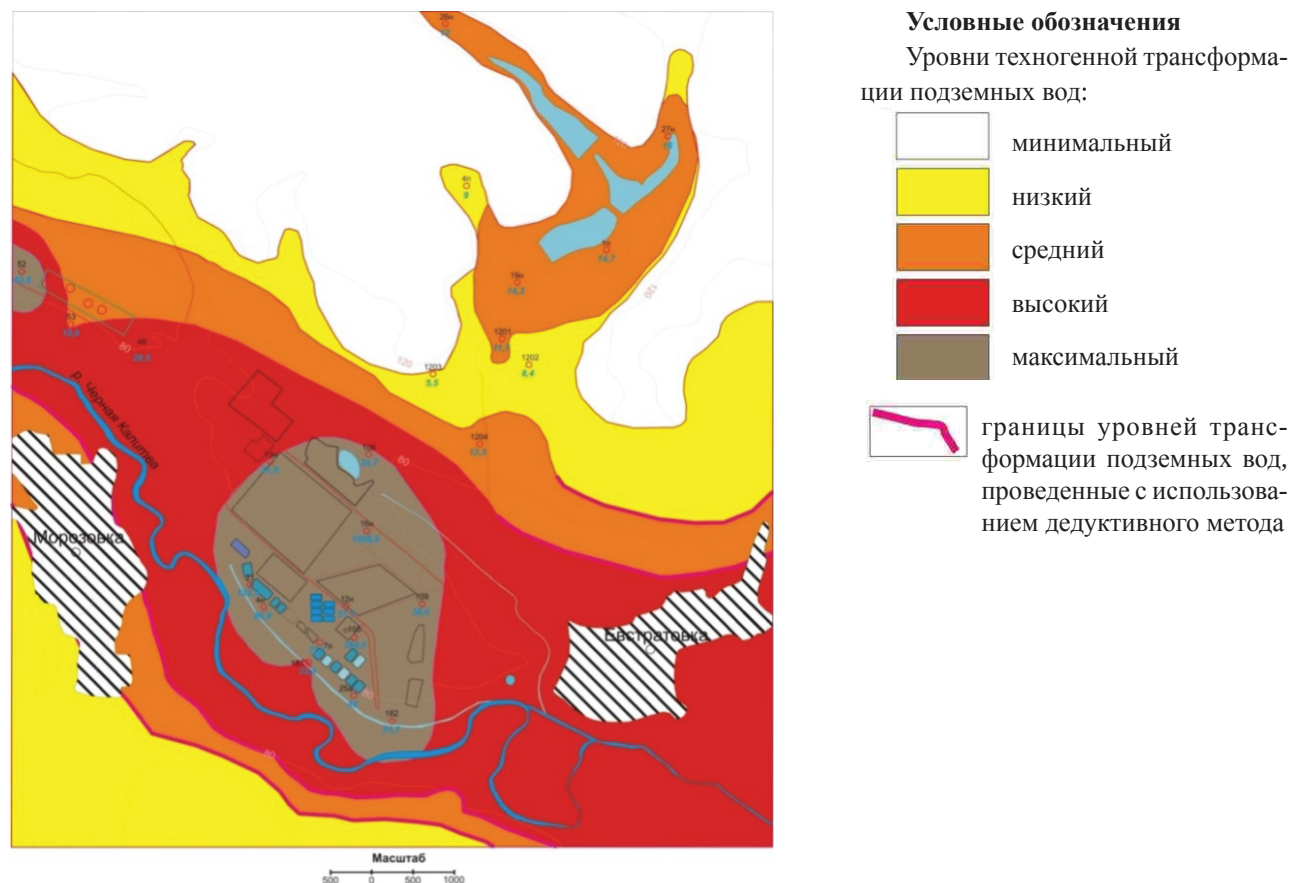


Рис. 4. Схема трансформации подземных вод в январе 2011 года

1) Оценить масштаб и степень трансформации основного эксплуатационного водоносного горизонта;

2) Построить схему объектового геоэкологического мониторинга подземных вод с учетом и природных и техногенных факторов;

3) Разместить дополнительные производственные комплексы с минимальным воздействием на водоносный горизонт.

На основании проведенных исследований проведено построение схемы объектового геоэкологического мониторинга (рис. 6), основными особенностями которого являются:

- 1) Комплексность;
- 2) Векторность (т. е. наблюдение за состоянием окружающей среды осуществляется по векторам);
- 3) Суперпозиция точек пробоотбора;
- 4) Ориентированность на экологические мишени.

Под понятием «экологическая мишень» предлагается понимать абиотический или биотический элемент окружающей среды, являющийся объектом, в том числе и потенциальным, негативного воздействия природного либо техногенного харак-

тера, приводящего к значительному ухудшению параметров среды жизнеобитания.

Так, для контроля состояния верхних водоносных горизонтов предлагается ввести ряд векторов наблюдения (т.е. направлений, в рамках которых необходимо осуществлять контроль состояния подземных вод) за конкретными экологическими мишенями: 1,9 – водозабор Трушевской; 2,3 – р. Черная Калитва, с. Морозовка; 4,5,6,10 – р. Черная Калитва; 7,11 – с. Евстратовка; 8 – г. Россось. Каждый из них имеет в своем составе от 2 до 4 наблюдательных скважин.

Точки мониторинга состояния атмосферного воздуха, почвенных отложений, снега, поверхностных вод также обозначены на схеме. Они обозначены в соответствии с принципом суперпозиции точек наблюдения. Схема отбора вышеобозначенных компонентов окружающей среды преимущественно радиальная.

Разработанная система экологического контроля позволяет фиксировать границы ореола загрязнения, оценивать эффективность внедренных разработок и принимать экологически грамотные природоохранные меры в рамках системы экологического менеджмента.

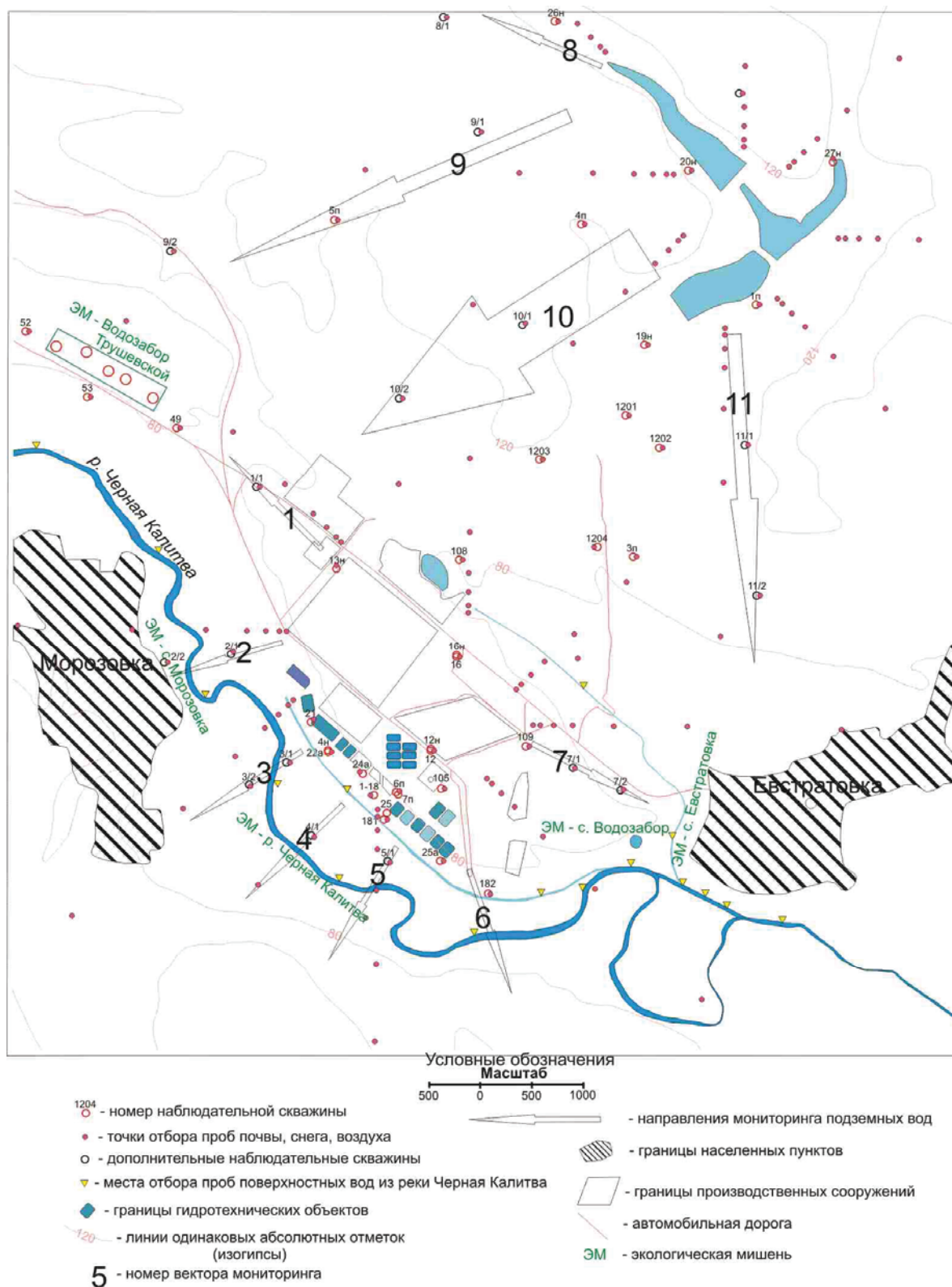


Рис. 5. Схема геоэкологического мониторинга

Заключение

В ходе выполнения данной работы было выявлено, что система оценки трансформации подземных вод дает более точную оценку их состояния по сравнению с оценкой по СПЗ и отдельным компонентам. Ее применение в ходе инженерных изысканий даст возможность более четко построить и обосновать систему геоэкологического мониторинга, а также принять более эффективные природоохранные меры в рамках системы экологического менеджмента.

При проведении исследований была разработана методика интегральной оценки трансформации приповерхностных водоносных горизонтов техногенно-нагруженных территорий как основа для построения системы геоэкологического мониторинга.

Необходимо отметить, что в данной работе продемонстрированы основные принципы формирования схемы мониторинга, а не система постановки точек наблюдения.

Таким образом, разработанная методика оценки трансформации приповерхностных водоносных горизонтов может быть применена при проведении инженерно-экологических и инженерно-геологических изысканиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабошкина Т. А. Основные принципы эколого-геохимического районирования территории / Т. А. Барабошкина // Школа экологической геологии и рационального недропользования : ежегодная межвузовская молодежная научная конференция. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2011. – С. 49–51.

Воронежский государственный университет
И. И. Косинова, заведующая кафедрой экологической геологии геологического факультета, доктор геолого-минералогических наук
kosinova777@yandex.ru

Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина (г. Воронеж)
В. П. Закусилов, доцент кафедры гидрометеорологического обеспечения гидрометеорологического факультета, кандидат географических наук
zakusilov04@yandex.ru

Воронежский государственный университет
Д. А. Белозеров, аспирант кафедры экологической геологии геологического факультета
belozerovdenis@yandex.ru

2. Барабошкина Т. А. Трансформация экологических функций литосферы в районах интенсивной добычи подземных вод (на примере России) / Т. А. Барабошкина // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: материалы Второй международной научно-практической конференции, г. Воронеж, 4–6 октября 2011 г. – Воронеж : КОМПЕР, Центр документации, 2011. – С. 17–20.

3. Венсель В. В. Интегральная регрессия и корреляция: Статистическое моделирование рядов динамики / В. В. Венсель. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 221 с.

4. Гольдберг В. М. Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод / В. М. Гольдберг. – М. : Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1980. – 86 с.

5. Коваленко И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для студентов вузов / И. Н. Коваленко, А. А. Филиппова. – М. : Высшая школа, 1982. – 255 с.

6. Косинова И. И. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование: учебное пособие для студентов вузов / И. И. Косинова, В. А. Богословский, В. А. Бударина. – Воронеж : Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2004. – 279 с.

7. Романовский Н. Н. Естественная защищенность подземных вод в криогидрогеологических структурах / Н. Н. Романовский, В. Е. Афанасенко, В. П. Волкова. – Якутск : Изд-во ИМ СО АН СССР, 1985. – 118 с.

8. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ.

9. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства.

Voronezh State University
I. I. Kosinova, the head of the Ecological Geology Department of the Geology Faculty, Doctor of science Geology and Mineralogy, Professor
kosinova777@yandex.ru

The Air Force Academy. Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin (Voronezh)
V. P. Zakusilov, Associate Professor of hydrometeorological software of hydrometeorological Department, Candidate of Geographical sciences
zakusilov04@yandex.ru

Voronezh State University
D. A. Belozarov, a postgraduate student of the Ecological Geology Department of the Geology Faculty
belozerovdenis@yandex.ru