

УДК 504.4.054

Косинова И.И., Белозеров Д.А.
Воронежский государственный университет

РОЛЬ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

I. Kosinova, D. Belozerov
Voronezh State University

LITHOLOGICAL FACTOR ROLE FOR TECHNOGENIC GROUNDWATER TRANSFORMATION

Аннотация. В статье представлена новая комплексная методика оценки трансформации подземных вод техногенно-нагруженных территорий. Она учитывает влияние литологических и техногенных факторов трансформации водоносных горизонтов. Литологический фактор учитывается через защищенность подземных вод, а техногенный через суммарный показатель загрязнения. Разработанная методика была применена для промышленного объекта — предприятия химической промышленности ОАО «Минудобрения». В ходе исследования была выявлена область определения методики, произведена оценка трансформации подземных вод.

Ключевые слова: техногенно-нагруженная территория; трансформация подземных вод; суммарный показатель загрязнения (СПЗ); защищенность водоносных горизонтов; комплексная методика оценки; факторы защищенности; литологический фактор.

Abstract. The paper presents a new complex assessment method of groundwater transformation in technogenically loaded territories. It takes into account influence of lithological and anthropogenic factors of forming aquifer transformation. Lithological factor taken into account through protectability groundwater, and anthropogenic through summary index of pollution. The developed method was applied for such a particular object as the «Minudobreniya» chemical industry plant. The domain of definition of the method was revealed, the groundwater transformation was estimated during the investigation.

Key words: technogenically loaded territory; groundwater transformation; summary index of pollution (SIP); aquifer protectability; complex assessment method; protectability factors; lithological factor.

Под техногенной трансформацией водоносных горизонтов предлагается понимать преобразование их количественных и качественных характеристик в результате техногенного воздействия, формирующее новые эколого-гидродинамические и/или эколого-гидрогеохимические условия. Трансформация подземных вод — это процесс, в котором участвует множество факторов. Их можно разделить на две группы — природные и техногенные. Среди первых следует подчеркнуть роль литологического фактора, который является ведущим в формировании природной защищенности подземных вод.

В процессе инженерно-геологических, инженерно-экологических и гидрогеологических изысканий производится оценка состояния и состава подземных вод (п.6.2, 6.3, 6.5 СНиП 11-02-96), а при инженерно-экологических изысканиях дается оценка влияния техногенных факторов на изменения гидрогеологических условий. При этом оценка загрязнения, в том числе трансформации, дается по основным загрязняющим компонентам. В редких случаях, преимущественно в ходе детальных исследований, территория оценивается по суммарному показателю загрязнения (СПЗ). Однако совокупная оценка трансформации подземных вод, включающая и природную, и техногенную составляющие, не рассчитывается. В то же время в суммарном показателе загрязнения нашли отражение многие факторы, но природная составляющая в нем отражена неявно, а зачастую влияние природного фактора на величину СПЗ вообще нивелируется, что недопустимо при выборе мест размещения новых промышленных

комплексов. Поэтому, в ходе исследований той или иной территории важно учитывать литологический и техногенный факторы и производить ее интегральную оценку.

Оценка трансформации водоносных горизонтов с низкой защищенностью особенно важна на техногенно-нагруженных территориях [2]. В Воронежской области одним из крупнейших источников загрязнения подземных вод является предприятие химической промышленности ОАО «Минудобрения», которое располагается на участке с 1-3 категориями защищенности водоносных горизонтов. С постоянным увеличением объема производства и расширением данного предприятия комплексная оценка трансформации гидросферы в его районе является одной из первостепенных задач. В этой связи целью работы является выявление роли литологического фактора при техногенной трансформации подземных вод через методику интегральной оценки их трансформации (в развитие методики В.М. Гольдберга [4]). Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) выявлены и установлены взаимосвязи между природными и техногенными показателями трансформации подземных вод;
- 2) введено понятие уровней техногенной трансформации водоносных горизонтов как интегрального показателя их состояния, дано методическое обоснование их расчета;
- 3) представлены результаты апробации разработанной методики на конкретном объекте — предприятии химической промышленности ОАО «Минудобрения».

Методика оценки трансформации подземных вод. Для оценки трансформации водоносных горизонтов использовались два показателя: (1) природная защищенность водоносного горизонта; (2) уровень его загрязнения по СПЗ для веществ, являющихся основными компонентами-загрязнителями одного класса опасности [6]. Предлагаемая методика оценки трансформации загрязнения включает в себя следующие основные блоки:

- А — анализ вклада ведущих загрязняющих элементов (для этого анализируется уровень

загрязнения подземных вод и выявляются ведущие загрязняющие компоненты);

- В — расчет суммарных показателей загрязнения с учетом класса опасности загрязняющих веществ (ЗВ);
- С — расчет природной защищенности подземных вод в соответствии с рекомендациями [4];
- D — моделирование эколого-гидрогеологической ситуации на основе взаимосвязи результатов, полученных в блоках В и С [1].

Алгоритм картографического моделирования определяется рядом следующих операций.

1. Интегрирование 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, фиксирует данные по его количественным показателям и опосредованно отражает физико-химические условия массопереноса вещества. Для интегрирования обозначенного комплекса информации природного и техногенного происхождения был использован «балльный подход». Так, интегрированные баллы защищенности предлагается рассчитывать путем соотношения определенных баллов защищенности (Бз) с максимальным уровнем защищенности, равным 25. Баллы суммарного показателя загрязнения нормируются на максимально благоприятную величину СПЗ, равную единице. В результате предлагается выделить пять уровней техногенной трансформации подземных вод. При этом каждому выделенному уровню соответствует расчетное значение баллов защищенности и СПЗ, которые при подобном подходе можно сравнивать и совместно оценивать (табл. 1).

Таблица 1

**Баллы СПЗ и защищенности,
характерные для соответствующего уровня трансформации подземных вод**

Уровень трансформации подземных вод	Интегрированные баллы по СПЗ (СПЗ/1)	Интегрированные баллы защищенности (25/Бз)
Минимальный	<1	1,00–1,25
Низкий	1–5	1,25–1,67
Средний	5–10	1,67–2,50
Высокий	10–15	2,50–5,00
Максимальный	>15	> 5,00

2. Установление взаимосвязи между исследуемыми параметрами с помощью коэффициента корреляции Пирсона. По данным ряда авторов [4; 7], загрязнение подземных вод напрямую связано с их защищенностью. Однако весьма существенным дополнительным фактором является приуроченность тех или иных участков к местам расположения источников загрязнения. Поэтому для ус-

тановления связи между защищенностью и СПЗ были рассчитаны коэффициенты корреляции. Первоначально определялась взаимосвязь между категорией защищенности и загрязнением. Для этого были построены графики зависимости между: (1) защищенностью и суммарным показателем загрязнения (рис. 1); (2) баллами защищенности и баллами СПЗ (рис. 2).

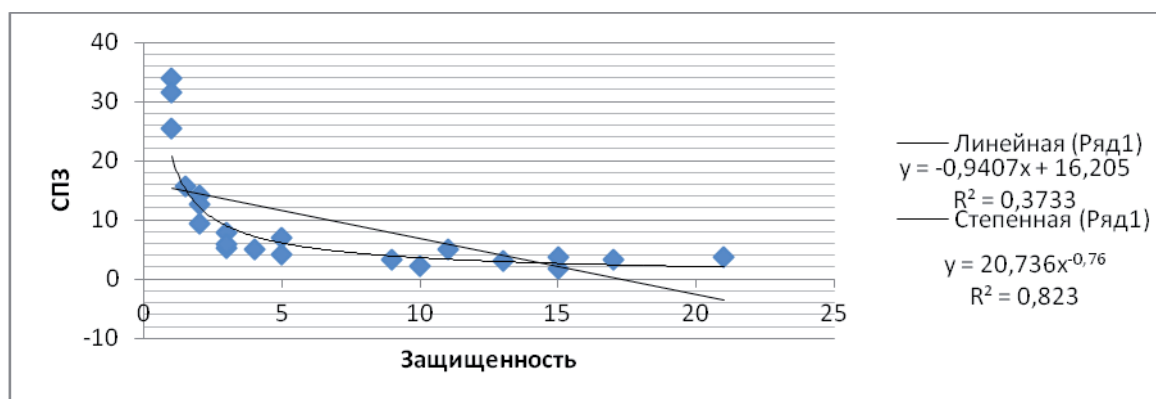


Рис. 1. Зависимость величины СПЗ от категории защищенности

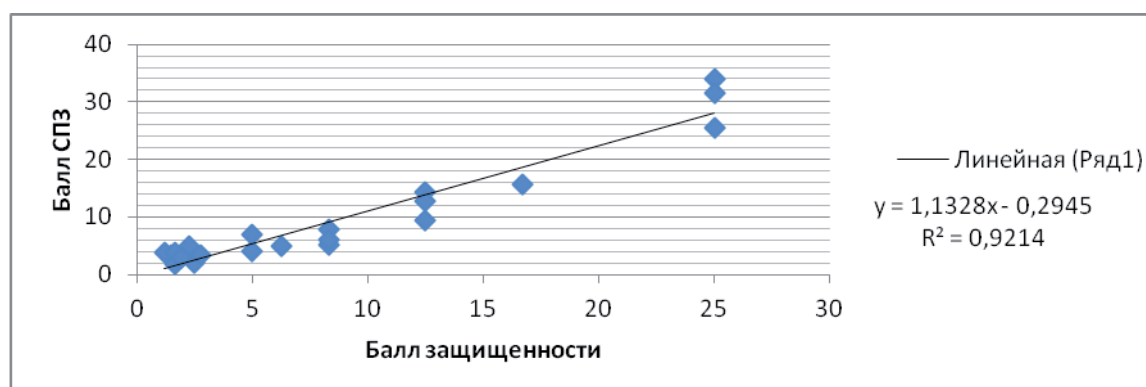


Рис. 2. Зависимость баллов СПЗ от баллов защищенности

В результате выявлено, что СПЗ зависит от защищенности нелинейно в области определения функции от 1 до 5 категории, баллы СПЗ от баллов защищенности — линейно с величиной достоверности аппроксимации проведенной регрессионной прямой 0,921 в области определения от 1 до 5 категории. Коэффициент корреляции Пирсона для 1-5 категории защищенности и СПЗ, а также балльными значениями данных показателей соответственно составляет -0,61 и 0,96. Таким образом, отмечается очень высокая степень корреляции между балльными значениями [3; 5]. Данный факт подтверждает правильность и целесообразность перехода к балльным значениям рассматриваемых параметров, т. е. непосредственной, прямой связью между баллами защищенностью и загрязнением для 1-5 категорий. Особенно отчетливо взаимосвязь между природной защищенностью и загрязнением подземных вод фиксируется в рамках первых трех категорий защищенности. Вышеуказанные факты позволяют создать и реализовать методику оценки состояния

подземных вод, включающую значительное число факторов загрязнения. Проведенные исследования показали, что зависимость баллов СПЗ от баллов защищенности описывается линейным уравнением $y = 1,1328x - 0,2945$. То есть, например, 1-му баллу защищенности соответствуют 0,84 баллов СПЗ.

3. Переход к интегральным единицам измерения уровней трансформации подземных вод на основе полученных данных. Общие показатели трансформации подземных вод будут соответствовать сумме интегральных баллов, приходящихся на соответствующие состояния подземных вод по СПЗ и защищенности (табл. 4). Таким образом, оценка уровня трансформации водоносного горизонта для каждой скважины производится путем расчета баллов СПЗ и баллов защищенности подземных вод и суммирования полученных результатов. Дальнейшая оценка трансформации водоносного горизонта производится методами экстраполяции и интерполяции суммарных баллов трансформации подземных вод с построением соответствующих карт.

Таблица 4

Уровни трансформации водоносных горизонтов

Уровни трансформации водоносных горизонтов	СПЗ, нормированный относительно минимального показателя СПЗ	Баллы защищенности (отношение макс. уровня защищенности к определяемому)	Диапазоны показателей уровней трансформации, интегральные баллы
Минимальный	<1,14	<1,0	0-2,14
Низкий	1,14-4,67	1-1,7	2,14-6,37
Средний	4,67-9,09	1,7-2,5	6,37-11,59
Высокий	9,09-13,51	2,5-5,0	11,59-18,51
Максимальный	>13,51	>5,0	>18,51

Апробация методики оценки уровней трансформации подземных вод на примере предприятия ОАО «Минудобрения». Разработанная методика легла в основу построения ряда картографических моделей, позволяющих получить интегральную оценку уровней техногенной трансформации подземных вод в районе предприятия

химической промышленности ОАО «Минудобрения», где фиксируются 2 основных источника загрязнения: 1) центральная промышленная площадка и вспомогательные сооружения (ливнеотстойники, шламонакопители, сооружения биологической очистки сточных вод и т. д.; 2) каскад прудов-накопителей (рис. 3).

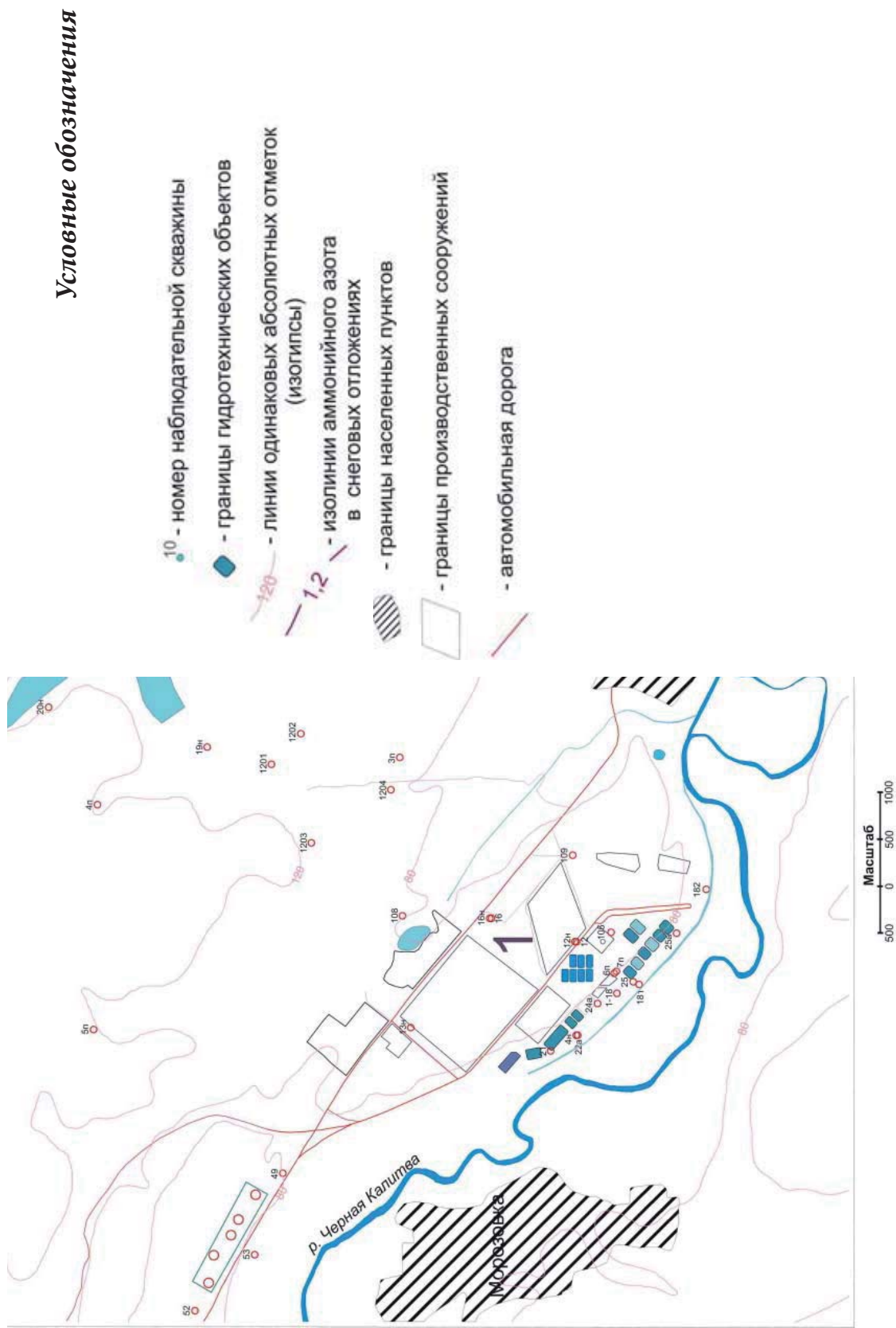


Рис. 3. Схема основных источников загрязнения подземных вод

Данное предприятие располагается в центральной части Воронежской области. Особенности литологического строения зоны аэрации обусловлены наличием в приповерхностных отложениях крупнозернистых песков неоген-четвертичного возраста и коры выветривания меловых горных пород (рис. 4). В качестве исходных данных использовались результаты химического анализа подземных вод в наблюдательных скважинах. В I полугодии 2006 г. основные производственные сооружения и пруды-накопители данного предприятия лежали в области максимального уровня трансформации подземной гидросферы. Вся территория, располагающаяся в пойме реки Черная Калитва, а также район 1-й надпойменной террасы на левом берегу водотока приурочены к высокому уровню деградации подземных вод. Территории прудов-накопителей и центральной производственной площадки разделены узкой полосой с низким уровнем преобразования рассматриваемого компонента, в стороны от которой отмечается существенное ухудшение экологического состояния. Площади территорий с максимальным и минимальным уровнями трансформации гидросферы составляют соответственно 8,8 и 0 км², а на низкий уровень приходится 14,29 км². В целом большая часть изучаемой территории имеет высокий уровень преобразования.

II полугодие 2006 г. характеризуется относительным увеличением площади зон с максимальным уровнем деградации водоносных горизонтов до 5232,7 баллов в связи с увеличением объема производства. Также фиксируется незначительное продвижение ореола среднего уровня трансформации в северном направлении — в сторону прудов-накопителей. В целом картина осталась весьма схожей с I полугодием того же года. Площади областей с максимальным и минимальным уровнями трансформации составили соответственно 9,37 и 0 км². Наиболее распространенное на рассматриваемой территории состояние гидросферы относится к высокому уровню преобразования.

В I полугодии 2007 г. ситуация осталась без значительных изменений. Область среднего уровня преобразования подземных вод пере-

местилась еще севернее, а максимальные значения баллов трансформации по-прежнему остались в районе скважины 16Н и составили 4732,5. Площади областей с максимальным и минимальным уровнями соответственно составили 9,26 и 0 км².

Для II полугодия 2007 г. 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. Максимальное значение баллов составило 3658,8 в районе скважины 16Н, а минимальное — 7,5 у скважины 19Н. Площадь зон с самым высоким уровнем трансформации гидросферы составила 9,45 км² (наибольшее значение за весь рассматриваемый период), а с самым низким — 0 км².

В мае 2010 г. отмечается заметное изменение уровня трансформации гидросферы. Так, в центральной производственной части произошло снижение площади зон с максимальным уровнем преобразования и увеличение — с высоким, соответственно на 0,19 и 1,42 км². Площадь областей с низким уровнем трансформации составила 15,79 км², что на 22% больше по сравнению с предыдущим периодом. В северной части карты отмечается отсутствие участков с максимальной и высокой степенью деградации подземных вод. Также фиксируется появление незначительной и в то же время наибольшей по площади (0,12 км²) зоны с минимальным преобразованием подземных вод. Самое низкое количество баллов составило 2,8. В целом состояние гидросферы улучшилось, что является безусловным следствием примерно семикратного и одиннадцатикратного увеличения затрат на капитальный ремонт основных производственных фондов по охране окружающей среды по сравнению с 2009 и 2006 гг. соответственно. Площадь зон с максимальным уровнем трансформации подземных вод составила 6,44 км².

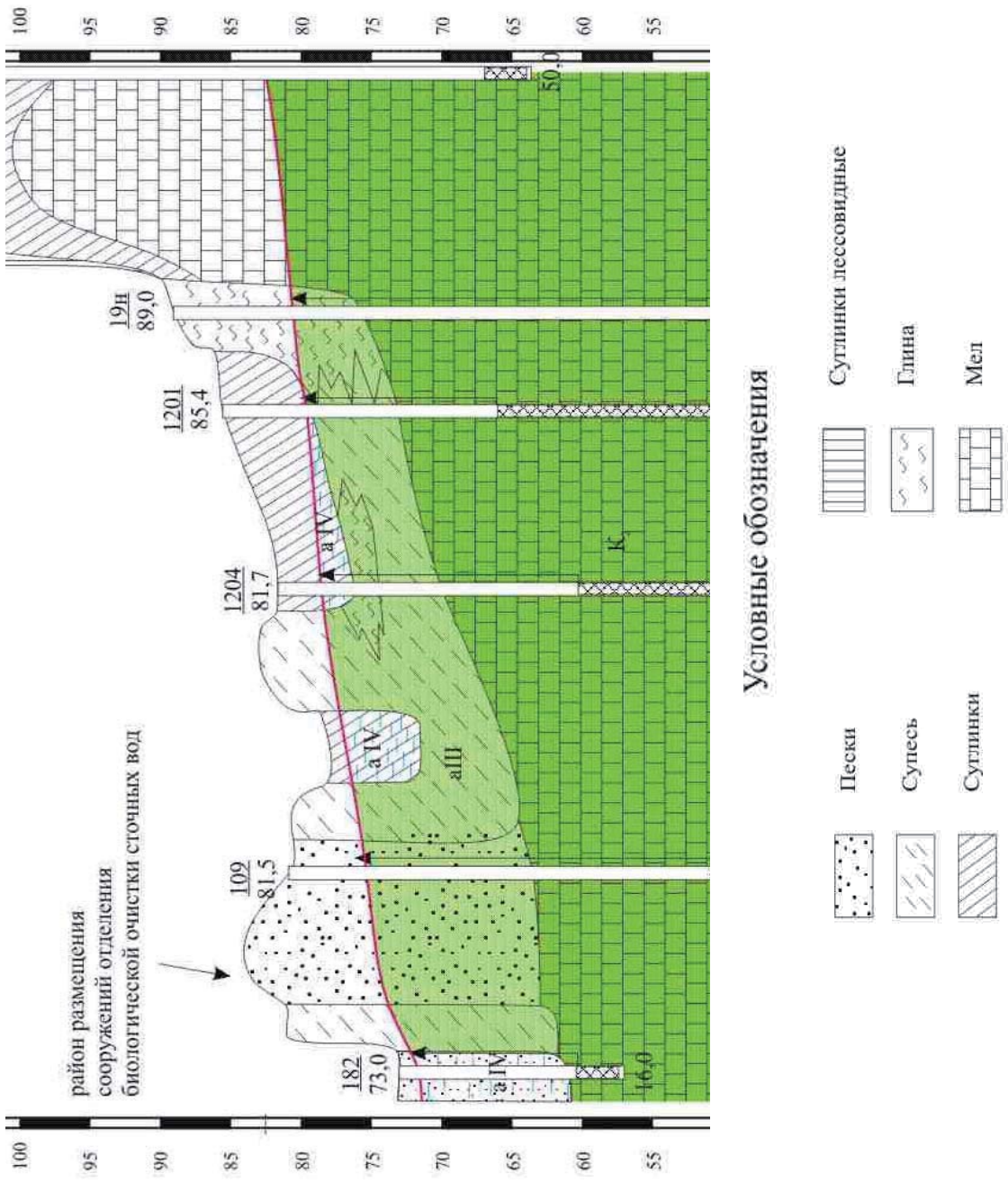


Рис. 4. Схематический гидрогеологический разрез

Далее, в августе 2010 г., произошло усиление преобразования гидросферы в северной части рассматриваемой территории. В центральной области площади зон с максимальным и высоким уровнями трансформации остались практически без изменений, в отличие от зон со средним и низким уровнями, по которым отмечается соответственно увеличение площади на 0,56 км² и уменьшение на 1,59 км². В районе отстойников появилась область площадью 0,43 км² с высоким уровнем трансформации водоносного горизонта. Это объясняется аномально высокими летними температурами, что, в свою очередь, привело к значительному испарению воды из отстойников и увеличению концентраций загрязняющих веществ. Таким образом, утечки из прудов-накопителей приводили к большей трансформации подземных вод. Общие площади, приходящиеся на наибольшую и наименьшую степени деградации, составили соответственно 6,43 и 0,03 км².

В октябре 2010 г. площадь распространения высокого уровня трансформации подземных вод была максимальной, составив 26,78 км². Площадь же зоны с низким уровнем, напротив, была наименьшей за рассматриваемый период — 9,48 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, что является следствием «размывания» высокого уровня преобразования подземных вод. В целом отмечается ухудшение экологического состояния подземных вод. В значительной степени это следствие жаркого лета, а также увеличения объема загрузки производственных мощностей. Площади, приходящиеся на максимальный и минимальный уровни деградации, составили соответственно 8,06 и 0 км².

На январь 2011 г. пришелся пик площади (8,18 км²) зон с максимальной трансформацией подземной гидросферы в области промышленной площадки. В то же время максимальное значение баллов трансформации составило 1008,9 у скважины 16Н, что является наименьшим показателем с 2006 г. Это объясняется высокими нагрузками на производственные сооружения и возможным появлением утечек загрязняющих веществ. Отмечается сокращение площади 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.

Общая динамика уровней трансформации подземной гидросферы в районе предприятия химической промышленности ОАО «Минудобрения» показана на рисунках 5–9.

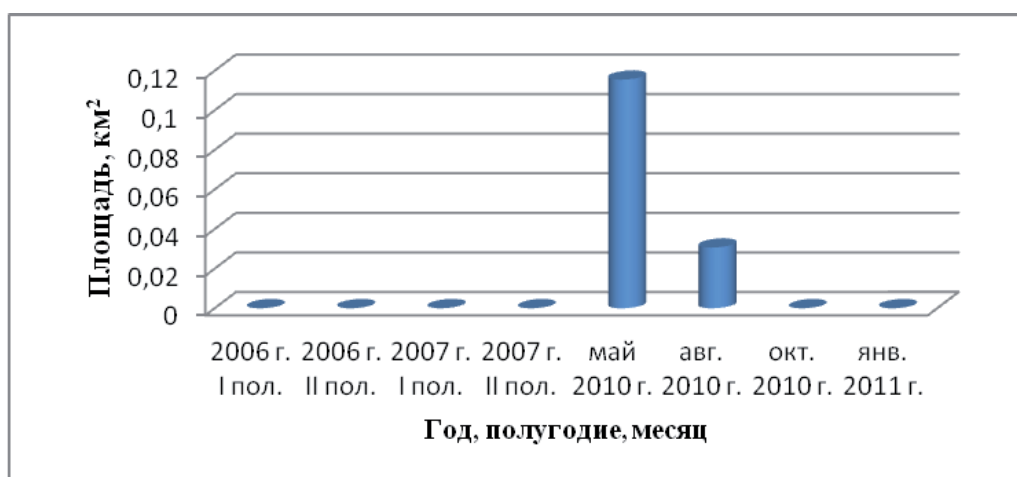


Рис. 5. Динамика минимального уровня трансформации подземных вод в 2006–2011 гг.

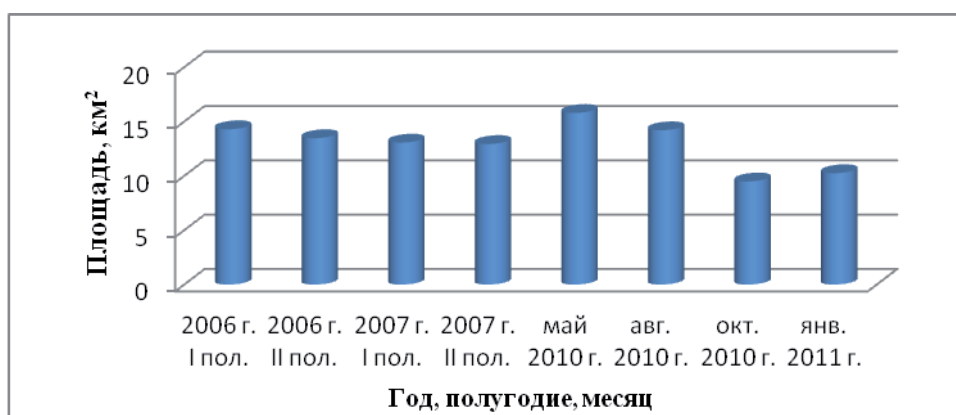


Рис. 6. Динамика низкого уровня трансформации подземных вод 2006–2011 гг.

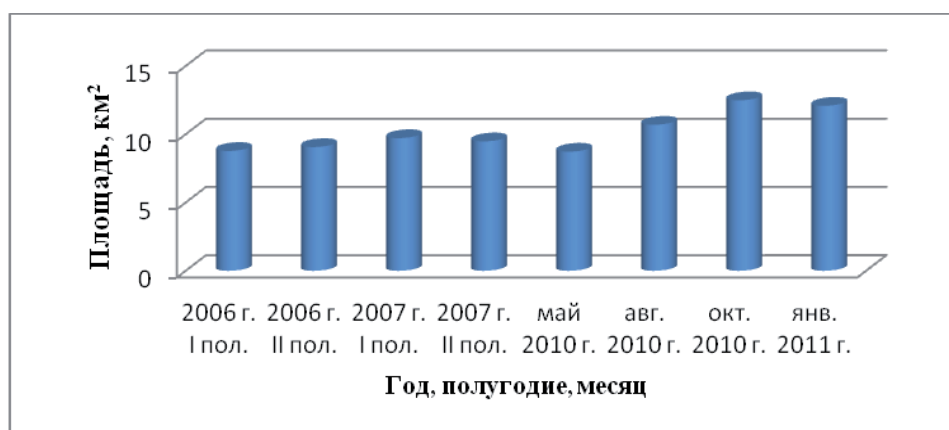


Рис. 7. Динамика среднего уровня трансформации подземных вод в 2006–2011 гг.

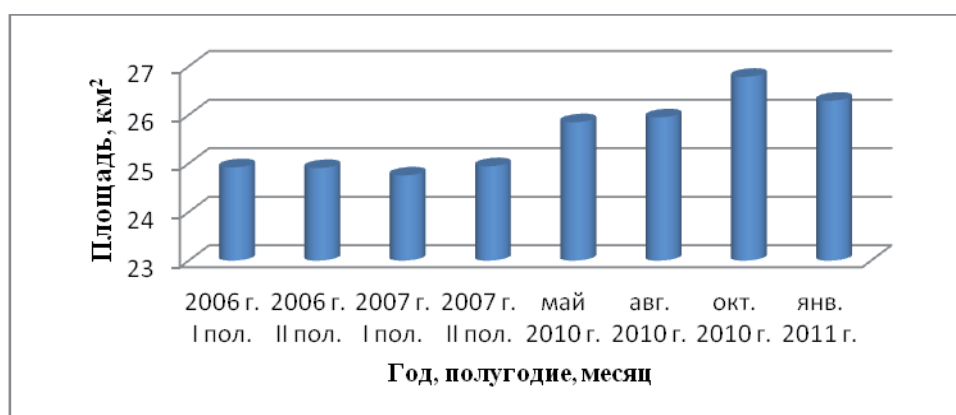


Рис. 8. Динамика высокого уровня трансформации подземных вод в 2006–2011 гг.



Рис. 9. Динамика максимального уровня трансформации подземных вод в 2006–2011 гг.

Выводы

1. Методика расчета уровней техногенной трансформации подземных вод позволяет получить интегральную оценку состояния водоносных горизонтов с учетом факторов их природной защищенности и особенностей техногенного загрязнения. Значительную роль в интегральной оценке играют факторы литологического строения разреза, которые определяют направления, интенсивность и скорости массопереноса вещества. Разработанная методика эффективна для природных условий с 1–5 категориями защищенности подземных вод. Ее использование результативно в процессе проведения инженерных изысканий под особо опасные объекты.

2. Апробирование разработанной методики на примере ОАО «Минудобрения» позволило дать детальный и достоверный анализ развития процессов техногенной трансформации водоносных горизонтов. Картографическое моделирование уровней трансформации для периода 2006–2011 гг. выявило не только особенности распространения ореолов преобразования подземных вод, но и отобразило для всего времени мониторинга результаты воздействия климатических, технологических и экономических факторов на состояние подземной гидросферы.

3. Данные по уровням техногенной трансформации подземных вод являются основой для разработки системы экологического менеджмента предприятия, отнесенного к особо опасным. Такая система включает этапы

планирования природоохранной деятельности, научной организации гидрогеологического мониторинга, контроля ситуации и разработки принципов управления сложной природно-технической системой. В рамках системы экологического менеджмента можно выделить ряд природоохранных мероприятий для минимизации техногенных воздействий на гидрогеологическую среду:

- переход от системы оценки загрязнения подземных вод к оценке их трансформации;
- очистка подземных вод с использованием двух дополнительных денитрификаторов;
- экранизация территории и создание системы стока в районе промышленной площадки, участка водоочистки;
- реконструкция хранилища аммиака и создание системы отвода вод;
- создание противофильтрационных устройств комбинированного типа шламонакопителей и ливнеотстойников;
- переход на замкнутый цикл водоснабжения;
- обеспечение рассеивания загрязняющих веществ путем экологически грамотного проектирования высоты трубы.

Литература:

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

2. Барабошкина Т.А. Трансформация экологических функций литосферы в районах интенсивной добычи подземных вод (на примере России) // Материалы 2-й Международной научно-практической конференции «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы», 4–6 октября 2011 г. — Воронеж: КОМПИР, Центр документации. — С. 17-20.
3. Венсель В.В. Интегральная регрессия и корреляция: статистическое моделирование рядов динамики. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 221 с.
4. Гольдберг В.М. Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод. Всесоюзный науч.-исслед. ин-т гидрогеологии и инженерной геологии. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1980. — 86 с.
5. Коваленко И.Н., Филиппова А.А. Теория вероятностей и математическая статистика : учебное пособие для студ. вузов. — М.: Высшая школа, 1982. — 255 с.
6. Косинова И.И., Богословский В.А., Бударина В.А. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование: учебное пособие для студ. вузов. — Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 2004. — 279 с.
7. Романовский Н.Н., Афанасенко В.Е., Волкова В.П. Естественная защищенность подземных вод в криогидрогеологических структурах. — Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1985. — 118 с.