

РГБ ОА

20 ДЕК 1999

На правах рукописи

УДК 624.131.1

ОМЕЛЬЧЕНКО НИКОЛАЙ СЕМЕНОВИЧ

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ
ЖИДКИХ ОТХОДОВ В СОЛЯНОКУПОЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ
(на примере полигона закачки жидких отходов в г.Волжском)

Специальность 04.00.24 - экологическая геология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических
наук

Волгоград 1999

Работа выполнена на кафедре инженерной геологии и геоэкологии Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии.

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук, профессор
С.В.Кузнецова

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
О.И.Серебряков
кандидат геолого-минералогических наук
Я.Н.Бондаренко

Ведущая организация: ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО

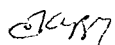
Защита состоится 22 декабря 1999 года в 10 часов на заседании диссертационного совета К 064.63.03 при Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии, адрес: 400074, Волгоград, ул.Академическая, 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградской государственной архитектурно-строительной академии.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим отправлять по адресу: 400074, Волгоград, ул.Академическая, 1, ВолгГАСА, ученому секретарю диссертационного совета К 064.63.03.

Автореферат разослан «22» ноября 1999 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

 Кузнецова С.В.

АКТУАЛЬНОСТЬ. Полигоны захоронения жидких отходов в глубокие горизонты являются объектами повышенного экологического риска; в особенности риск возникает при их размещении в солянокупольных областях (Гольдберг, 1995). Это связано с современными движениями соляных структур, способными, с одной стороны нарушить герметичность тектонических разломов, и с другой привести к авариям скважин, что в конечном счете может вызвать загрязнение водоносных горизонтов и привести к общему загрязнению окружающей среды.

Вместе с тем возникают ситуации, когда подземное захоронение не имеет альтернатив, в особенности в условиях Прикаспийской впадины с плоским рельефом и неглубоким залеганием грунтовых вод, не позволяющими создавать достаточно крупные хранилища в естественных понижениях местности. Об этом свидетельствует опыт создания ряда поверхностных хранилищ вблизи г. Волгограда, где загрязнены грунтовые и поверхностные воды и атмосфера на площади 720 км², и вблизи г. Волжского, где площадь загрязнения равна 252 км². Поэтому полигоны подземного захоронения в Прикаспии используются и продолжают строиться на Оренбургском, Карачаганакском и Астраханском газоконденсатных месторождениях, а также на объектах химической промышленности, в частности заводе «Волжский Оргсинтез» в г. Волжском.

Повышенные требования к обеспечению экологической безопасности наряду с расширением существующих представлений о влиянии солянокупольной тектоники на природные и техногенные объекты обусловили необходимость радикальной модернизации стандартной системы контроля процессов, происходящих при закачке промстоков и ее научного обоснования.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Разработка общей концепции и научно-методических подходов к проблеме комплексного эколого-геологического мониторинга захоронения жидких отходов в глубокие водоносные горизонты в солянокупольных областях и их реализация на примере полигона закачки в г. Волжском.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ: 1) анализ современных движений земной коры в солянокупольных областях и их влияния на геологическую среду и объекты техногенеза; 2) оценка особенностей геологической среды полигона захоронения; 3) анализ взаимодействия объектов полигона захоронения с геологической средой как основа концепции комплексного эколого-геологического мониторинга; 4) разработка структуры эколого-геологического мониторинга; 5) разработка схемы эколого-геологического районирования полигона; 6) разработка программ различных видов мониторинга (геодинамического, газогеохимического, гидрогеохимического, гидравлического, промыслово-геофизического, сейсмического и др.).

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ: 1) впервые выполнен анализ комплекса взаимодействий объектов полигона закачки с геологической средой в солянокупольных областях; 2) впервые выявлены характер и возможные последствия влияния вертикальных движений солянокупольных структур на буровые скважины; 3) впервые разработана концепция комплексного эколого-геологического мониторинга захоронения промстоков в солянокупольных областях, его структура и программа различных видов мониторинга.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ: На основе детального изучения инженерно-геологических условий полигона разработаны: 1) программа комплексного эколого-геологического мониторинга на территории полигона закачки жидких промышленных отходов ОАО «Волжский Оргсинтез»; 2) схема эколого-геологического районирования территории как основа наблюдательной сети; 3) конфигурация наблюдательной геодезической сети, конструкция центров пунктов инструментальных наблюдений и схема их размещения на полигоне; 4) программа наблюдений (включая спутниковые) для исследования современных вертикальных и горизонтальных движений Паромненской солянокупольной структуры. Выполненные исследования могут найти применение при разработке проектов аналогичных полигонов в солянокупольных областях для предприятий различных областей промышленности в других регионах России и за рубежом.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ: Основные выводы работы использованы в проекте промышленной эксплуатации полигона по закачке жидких отходов завода «Волжский Оргсинтез», при создании сети геодезического полигона, проведении нивелирования, спутниковых наблюдений и других видов мониторинга.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА: В основу работы положены данные, полученные автором в период работы в экологической службе завода «Волжский Оргсинтез».

Исследования базируются на результатах бурения, геофизических, инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрохимических и других материалах ГНЦ РФ НИОПИК, ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО, ИФЗ РАН, ВолгГАСА, других институтов.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ: Основные положения работы докладывались и были представлены на научно-технических конференциях ВолгГАСА (1998-1999), на Международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность городских комплексов» (Волгоград, 1999), Международной научной конференции «Город, экология, строительство» (г. Каир, Египет, 1999), чтениях Волгоградского отделения Российской Экологической академии (Волгоград, 1999), чтениях в Волгоградском областном обществе краеведов (1999), совещании по проблемам геодинамических полигонов в

Астрахани (1999).

ПУБЛИКАЦИИ: Основное содержание работы опубликовано в 10 статьях.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем - 141 страница. Работа иллюстрирована 37 рисунками и содержит 25 таблиц. Список литературы включает 137 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю профессору С.В.Кузнецовой. Автор искренне признателен профессорам В.Н.Синякову, М.А.Шубину, которые ознакомились с рукописью и сделали необходимые замечания.

Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПОЛИГОНА ЗАХОРО- НЕНИЯ

Полигон сооружен в сложных геолого-тектонических условиях: в зоне сочленения Воронежской антеклизы и Прикаспийской синеклизы, на восточном склоне Паромненской солянокупольной структуры, ограниченной с востока Восточно-Паромненской мульдой, а с запада Прибортовым прогибом. Перспективные пласты-коллекторы находятся в нижней части надсолевого комплекса мощностью около 1 км, осложненного рядом разломов (рис. 1). В нем выделяются 7 водоносных горизонтов. В качестве пласта-коллектора выбран нижнебайосский горизонт. Он сложен кварцевыми песками и песчаниками, залегает на глубине 830-1350 м. Мощность коллекторского слоя 41-46 м. Основные характеристики: пористость от 10-18 % до 29-36,5 %, водопроницаемость 20-30 м²/сут, пьезопроницаемость $7,8 \cdot 10^5$ - $1,2 \cdot 10^6$ м²/сут, приемистость 75-115 м³/сут. атм., минерализация воды 75-156 г/л. Пласт-коллектор перекрыт глинами мощностью 67-104 м и подстилается глинами байосса и триаса. Выше залегают три горизонта с непригодными для использования водами: верхнебайосский, баррем-аптский и альб-сеноманский, относящиеся к зоне замедленного водообмена, которая отделяется от зоны активного водообмена региональным водоупором верхнего мела мощностью 450-750 м.

Современные геологические процессы представлены подтоплением, заболачиванием, засолением, просадкой лессовых грунтов, набуханием глин.

Район полигона захоронения характеризуется внешне спокойной сейсмотектонической обстановкой с отсутствием в настоящее время сильных землетрясений. Однако уточнение оценки сейсмической опасности и тектонической обстановки рядом исследователей показало, что здесь могут происходить землетрясения с максимальными магнитудами $M_{max}=4,2$. Геологические свидетельства крупнейших сейсмических событий, происходивших в долине Волги в среднечетвертичное время, показывают, что это не исключено.

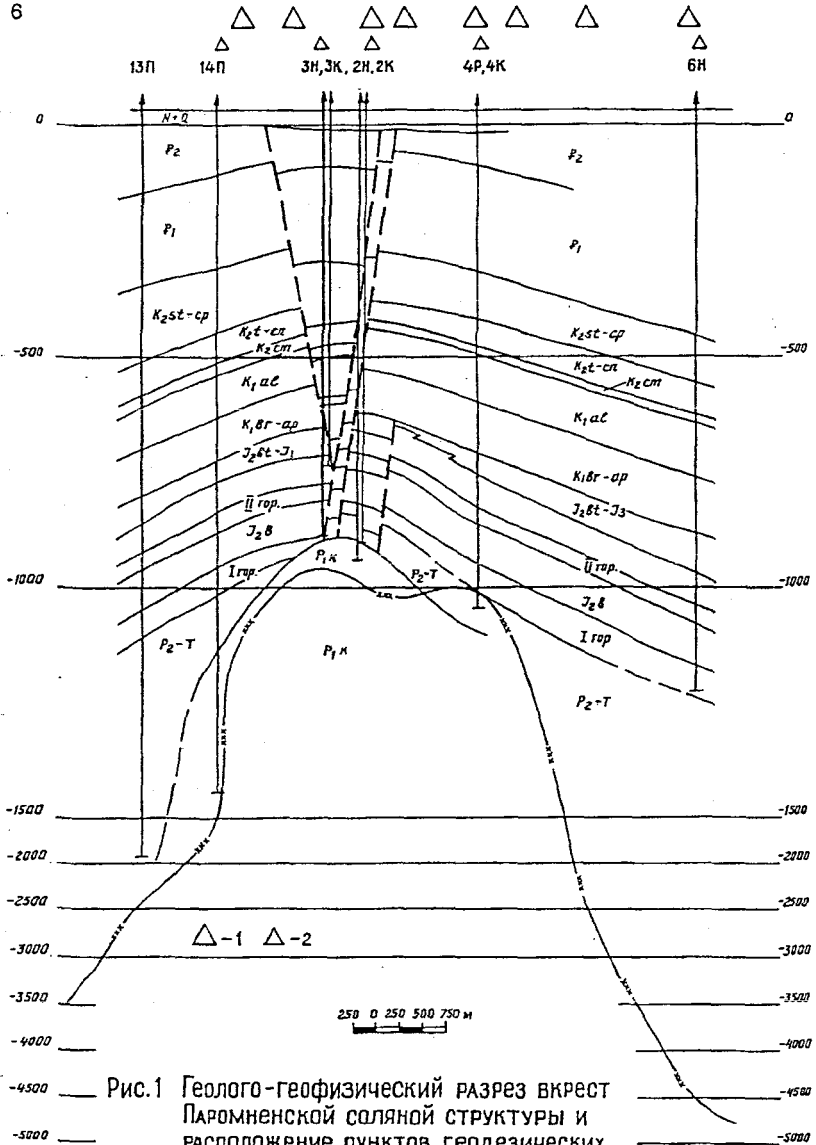


Рис.1 Геолого-геофизический разрез вкост Паромненской соляной структуры и расположение пунктов геодезических и спутниковых наблюдений.

Пункты наблюдений: 1- геодезических
2- спутниковых (GPS).

Глава 2. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В СОЛЯНОКУПОЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОБЪЕКТЫ ТЕХНОГЕНЕЗА

2.1. Современные движения соляных структур. Формирование солянокупольных структур происходит в Прикаспийской впадине, начиная с пермского периода. Соляные купола, в том числе Паромненский, испытывали подъем вследствие ползучести соли, а из межкупольных депрессий происходил отток соли. Этот процесс развивался на последующих этапах геологической истории региона и продолжается сейчас. В целом амплитуда роста соляных поднятий на позднеплиоценово-четвертичном этапе составляет 500 м, а на позднечетвертичном-современном этапе рост характерен для более 80 % соляных структур, выраженных положительными формами рельефа высотой 10-152 м (Аристархова, 1970).

Скорость роста соляных куполов в мире изучена недостаточно [7,9]. По результатам геодезических наблюдений (1987-1990 г.г.) на полигоне Светлоярского купола, расположенного на Ахтубинско-Тунгутинской соляной антиклинали, как и Паромненский купол, скорость роста по данным В.Н. Синякова и С.В. Кузнецовой (1997) достигает 3-4 мм/год. Установлено, что движения поверхности земли над куполом не являются однородными, а имеют сложную природу, вызванную закономерностями внутренней складчатости - поднятий и погружений второго порядка внутри купола. Наибольшие значения роста купола соответствует участкам поднятий, наименьшие - погружениям.

Наблюдениями в 1951-1964 г. на Баскунчакском куполе (Певнев, 1969) установлены скорости от 1 до 4 мм/год и возможность смены знака движений.

Еще одна инверсия установлена по данным повторного нивелирования, выполняемого в зоне Волгоградской ГЭС (Стороженко, Синяков, 1997), где правый берег (Приволжская моноклиналь) испытывает опускания со скоростью около 1 мм/год, а левый (Прикаспийская впадина) поднимается с такой же скоростью, хотя исходя из истории геологического развития этих регионов знаки движений должны быть противоположными. Тем не менее эти инверсии существуют, подтверждаются другими инверсиями в Прикаспии (Кузнецов, 1997) и Кавказском регионе (Кафтан, 1998) и указывают на сложность тектонических процессов и необходимость их изучения.

Среди других данных следует отметить сведения по ряду куполов вдоль железной дороги Сызрань-Астрахань. Скорость роста составляет, как правило 0,9-1,3 мм/год (Сетунская, 1968). Близкие результаты опубликованы по поднятиям куполов в Иране - 2 мм/год (Ala M.A., 1974) и в ФРГ - 1-2 мм/год (Trusheim, 1960). Следует отметить, что имеющиеся данные замеров скорости подъема куполов ввиду их малочисленности не

являются основанием для серьезных выводов и могут не отражать максимальных величин. Поэтому на неизученных структурах скорость роста может быть и выше, что отмечалось в других регионах-12,5 мм/год в США (Вапон, 1937) и 4-9 мм в Средней Азии (Варга, 1986).

2.2. Влияние движения соляных структур на окружающую среду. В разделе приведены данные об огромном влиянии роста соляных структур на окружающую, в том числе геологическую среду. Мощность четвертичных пород возрастает на отрицательных структурах и уменьшается на положительных. Например, морские хвалынские глины, широко распространенные на огромной территории Прикаспия, имеют максимальную мощность над мульдами и минимальную над куполами, а над Паромненским практически выклиниваются. В рельефе соляные купола выражены повышенными участками, межкупольные депрессии - понижениями земной поверхности. Глубина залегания грунтовых вод на возвышенных участках соляных структур увеличивается до 15-20 м, в понижениях она равна 2,4 м. Кроме того, минерализация подземных вод вблизи куполов заметно увеличивается. Резко меняются состав и свойства грунтов (Синяков, 1984).

2.3. Разломы и трещиноватость надсолевого комплекса. В целом в надсолевом комплексе формируются крупные блоки земной коры, различающиеся по напряженному состоянию. Над положительными соляными структурами образуются зоны растяжения, над межкупольными депрессиями - зоны сжатия. Эти зоны имеют резкие отличия в трещиноватости, проницаемости, прочности и других свойствах горных пород. Для блоков над соляными куполами характерна повышенная трещиноватость горных пород, усиленный газо- и водообмен, активная взаимосвязь поверхностных и подземных вод, а также многие другие структурные и геоморфологические аномалии. Именно с этими блоками связано формирование разломов и грабенов оседания в надсолевом комплексе.

Зоны повышенной трещиноватости и соответствующие им аномалии установлены в левобережье Волгоградской области на Демидовской и других структурах (Прохоров, 1977), на территории Астраханского газоконденсатного комплекса (Акимова, Синяков и др., 1996). Газовые и геохимические аномалии по данным В.А. Ермакова (1998), отмечаются и над Паромненским куполом.

Почти все соляные купола и антиклинали сопровождаются разломами. Чаще всего они оконтуривают соляные массивы, но имеются также надсводовые грабены, например, Паромненский. Активность разломов изучена крайне слабо, т.к. подавляющее число куполов Прикаспия (в том числе Паромненский) и сопровождающие их разломы перекрыты мощным чехлом молодых отложений, маскирующих признаки их активно-

сти. Поэтому активность разломов оценивается по косвенным геологическим данным и в очень редких работах. Например, в районе Волго-Ахтубинской структуры, по данным Г.И. Горецкого (1967) она продолжалась вплоть до голоцена.

2.4. Влияние соляных структур на подземные техногенные объекты. Современный подъем куполов, связанный с ползучестью соли, осложняет эксплуатацию соляных месторождений и подземных хранилищ внутри них. Исследования В.Н. Синякова и др. (1997) на Светлоярском соляном месторождении показали, что деформации камер выщелачивания, сформированных на глубине 1400-1600 м, имеют сложный характер и зависят от структурных особенностей участков их расположения. На положительных соляных складках они минимальны - 10-20 мм, на отрицательных увеличиваются до 119 мм. Кроме того, камеры выщелачивания имеют форму, отличающуюся от проектной цилиндрической. Проекция камер в плане имеют форму круга только на оси складок 2-го порядка, т.е. там, где движение соли внутри купола направлено по вертикали. Другие камеры, расположенные на крыльях складок, имеют форму эллипса, длинная ось которого вытянута в направлении падения соляной складчатости.

Вполне возможно, деформации подземных емкостей, созданных ядерными взрывами вблизи Астрахани, также вызваны современными движениями соли в куполе, внутри которого производились взрывы.

2.5. Математическое моделирование движений соляных структур. В результате анализа результатов натурных наблюдений движения земной поверхности над соляными структурами, В.К. Цветковым (1997) была разработана математическая модель для исследования движения соляных структур, базирующаяся на теории упругости, пластичности и ползучести с применением методов конечных элементов и обратных расчетов. Апробация модели проводилась для разреза Светлоярского соляного купола и подземных емкостей в нем путем сравнения величин перемещений дневной поверхности земли, определенных с использованием модели и методом натурных наблюдений, проводившихся с 1987 по 1991 гг.

Сопоставление результатов исследования дало хорошее их совпадение. В процессе расчета модели определялись величины вертикальных сил, вызывающих перемещения дневной поверхности, установленные методом натурных наблюдений, и соответствующие этим силам перемещения соляного купола. Расчеты показали, что для рассматриваемого разреза при условии постоянства скоростей перемещения соляного купола и поверхности земли имеет место соотношение $V_k = 3,17V_{д.п.}$, где V_k - средняя скорость перемещения купола; $V_{д.п.}$ - средняя скорость подъема точек дневной поверхности, определенная натурными наблюдениями. В рассматриваемом случае $V_{д.п.} = 3$

мм/год, то есть $V_k = 9,51$ мм/год.

Глава 3. ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИГОНА ЗАКАЧКИ

И ИСТОРИЯ ЕГО СОЗДАНИЯ

Полигон закачки стоков включает 4 нагнетательные и 10 наблюдательных скважин. Скважины имеют многоколонную конструкцию и включают 3 колонны: направление до 3-35 м, кондуктор до 270-290 м и эксплуатационную колонну.

Из 10 наблюдательных скважин 6 предназначены для наблюдений за водами пласта-коллектора и верхнебайосского горизонта. Другие 4 скважины оборудованы на баррем-аптский горизонт. Скважины расположены в виде трех кустов; из двух скважин - одна на пласт-коллектор и верхнебайосский горизонт, другая - на баррем-аптский горизонт. Один куст расположен перед сбросом, другой куст - за линией сброса (рис. 1).

Наземный комплекс включает два поверхностных хранилища стоков, насосные станции, средства измерений и сопутствующие объекты.

Решение о изучении возможности глубинного захоронения было принято в результате сложившейся недопустимой экологической ситуации в районе пруда-накопителя «Большой Лиман», куда первоначально сбрасывались жидкие отходы, и отсутствия альтернативных экономичных методов их очистки.

«Большой Лиман» - замкнутая котловина общей площадью 60 км². Наибольшая глубина лимана около 5 м. В его основании залегают хвалыньские «шоколадные» глины, под ними - хазарские и ательские пески и супеси мощностью 25-30 м, в которых расположен пресный горизонт грунтовых вод, гидравлически связанный с р. Ахтубой - протокой р. Волги.

Впервые факт загрязнения этого горизонта был зафиксирован в 1983 г., когда уровень воды в «Большом Лимане» достиг 19,1 м (на 1,1 м выше проектной отметки). Специфические загрязнения (толуол, формальдегид, сероуглерод, анилин и др.) появились в ательском водоносном горизонте и нижележащем хазарском горизонте.

В результате значительной экологической опасности для экосистем рек Ахтубы и Волги, и территории г. Волжского, были выполнены геологоразведочные и научно-исследовательские работы по изучению возможности глубинного захоронения.

Была также выполнена длительная опытно-промышленная закачка чистой воды, модельных растворов и реальных промстоков с целью выявления возможности промышленной закачки. Она показала возможность захоронения большого объема стоков в пласт-коллектор, хотя ряд задач не получил однозначного решения: о параметрах пласта-коллектора, о проницаемости зоны тектонических нарушений, о границах фронта закачиваемых отходов. На решение в том числе и этих задач направлен предлагае-

мый мониторинг.

Глава 4. ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТОВ ПОЛИГОНА С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДОЙ КАК ОСНОВА КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В общей постановке концепция комплексной системы эколого-геологического мониторинга на полигонах захоронения промстоков в солянокупольных областях выглядит следующим образом.

Традиционный мониторинг на полигонах захоронения в простых геологических условиях ограничивается системой наблюдательных скважин для контроля за распространением стоков в горизонтальном и вертикальном направлениях, величиной давления, перетоками жидкостей по затрубью и межтрубью скважин. Цель этого контроля - недопущение распространения стоков за границы горного отвода.

Эта же цель остается и в солянокупольных областях, но сама система мониторинга усложняется в связи с новыми задачами, вытекающими из более сложной геолого-тектонической обстановки, наличия современных движений соляного купола, способных деформировать буровые скважины и активизировать разломы в надсолевом комплексе, тем самым создавая более благоприятные условия для техногенной сейсмичности, связанной с закачкой.

Под комплексной системой мониторинга понимается система режимных наблюдений, прогноза и управления изменениями состояния геологической среды в пределах горного отвода полигона захоронения.

Для создания этой системы необходима подробная характеристика геологической среды и ее особенностей, связанных с соляной тектоникой (главы 1, 2) и информация о выявленных или предполагаемых изменениях в геологической среде, которая является основой для прогноза техногенных изменений (содержание настоящей главы). На этой основе определяются структура, конкретные цели мониторинга и средства натурных режимных наблюдений (гл. 5).

4.1. Оценка возможных воздействий соляных структур на полигон закачки. В соответствии с данными главы 2, рост Паромненской структуры является крайне негативным фактором по степени влияния на функционирование полигона:

1. Давление на забой скважин, расположенных в соленосной толще или вблизи нее, способно вызвать смятие колонн труб, их перемещение и нарушение цементации затрубного и межтрубного пространства. Следствием этого может стать взаимосвязь между водоносными горизонтами и загрязнение геологической среды.

2. Надсолевая толща над куполом представляет зону растяжения с повышенной трещиноватостью, флюидопроницаемостью, нарушением герметичности водоупоров и

другими неблагоприятными факторами.

3. Растягивающие напряжения над движущимся куполом способствуют увеличению проницаемости тектонических разломов и активизации их подвижек.

Для исследования распределения напряжений в грунтовом массиве над куполом, на которую влияют как горное давление от собственного веса слоев, так и давление от движущегося купола выполнено (совместно с С.В. Кузнецовой) изучение состава, состояния и физико-механических свойств горных пород.

На этой основе по инициативе и при участии автора В.Н. Власовым и Ю.С. Вильгельмом разработана математическая модель для оценки динамики массива и влияния этих изменений на сохранность скважин и экологическую безопасность полигона.

Для прогноза напряженно-деформированного состояния колонны труб с использованием модели линейно - деформируемой среды грунты с близкими по значению характеристиками сгруппированы в один расчетный слой; после преобразования выделено 11 расчетных слоев мощностью от 20 до 200 м.

В процессе оценки напряженно-деформированного состояния колонны труб рассмотрены два варианта деформирования системы «колонна труб - грунтовая толща»: 1) колонна труб находится в грунтовой толще и перемещается совместно с грунтом с одинаковой скоростью в результате подъема купола; 2) колонна труб находится в грунтовой толще и перемещается совместно с грунтом с различной скоростью, т.е. моделируется частичное обжатие (анкеровка) колонны труб.

По второму варианту может быть реализовано два случая деформирования системы «колонна труб - грунтовая толща»:

Первый случай – деформация нижних слоев грунтовой толщи ввиду существенной разности деформационных характеристик грунта и конструкций колонны труб протекает быстрее. При этом напряженное состояние колонны труб состоит из горизонтального давления среды и вертикального давления вследствие отставания деформаций колонны труб от грунтовой толщи.

Второй случай – деформации перемещения соляного купола в начальный момент передаются на колонну труб, а затем на нижний слой грунтовой толщи. Напряжения от перемещения соляного купола воспринимаются конструкцией колонны труб, а затем перераспределяются на грунтовую толщу.

Численное моделирование системы «колонна труб-грунтовая толща» производилось с использованием пакета прикладных программ «Лира». В результате анализа данных моделирования установлено следующее:

1. Разрушение колонны труб возможно при реализации второго варианта (случай

чай), когда устье колонны находится в соляном куполе или в перекрывающих слоях, и при скорости подъема купола 3 мм в год напряжения в железобетонной оболочке достигнут предельных значений за 2-3 года эксплуатации;

2. Уровень нагрузок, приводящих к разрушению конструкции колонны труб, полученных по 1-му и 2-му (1 случай) вариантам, зависит от скорости поднятия соляного купола, геологических процессов, протекающих в грунтовой толще, и реализуются ориентировочно через 20-23 года;

3. Для безопасной эксплуатации и прогноза поведения колонны труб необходим систематический контроль за протекающими в грунтовой толще геологическими процессами, в особенности современными движениями Паромненского соляного купола, с помощью высокоточного нивелирования.

4.2. Распространение жидких отходов в вертикальном и горизонтальных направлениях. Изолированность пласта - коллектора является важнейшим условием экологической безопасности захоронения. Для предотвращения вертикального перетока закачиваемых отходов пласт-коллектор должен быть перекрыт надежным выдержанным по мощности и литологии водоупорным слоем.

В пределах полигона закачки он представлен байосскими глинами мощностью 112-115 м в районе нагнетательных скважин и 50-64 м в сводовой части Паромненского купола. По оценкам НИОПИК глины являются практически водонепроницаемыми, и гидравлическая связь между пластом-коллектором и вышележащим горизонтом наступит через 850 лет. Следует иметь в виду, что расчеты велись применительно к четвертичным глинам из основания Волжской ГЭС, свойства которых могут существенно отличаться от свойств юрских глин водоупора. Кроме того, все грунты в сводовых частях соляных куполов, в том числе и Паромненского, подвержены деформациям растяжения и обладают повышенной трещиноватостью, пористостью, водопроницаемостью (см. гл. 2), что может способствовать вертикальной фильтрации из пласта-коллектора и требуют соответствующего контроля.

Потенциальной зоной перетоков может также служить зона тектонических нарушений в надсводовой части купола - так называемый Западный разлом, проводящая или экранирующая роль которого окончательно не выявлена.

Определенную роль в изменении проницаемости разлома могут сыграть тектонические движения в своде Паромненского купола, способные в сочетании с увеличением пластовых давлений в процессе закачки активизировать разлом. Все это указывает на необходимость мониторинга режима подземных вод в зоне разлома.

Горизонтальная миграция жидких отходов рассчитывалась на срок от 1 до 25 лет в

двух вариантах: при закачке 5000 м³/сут и 3000 м³/сут. По результатам расчетов, пласт-коллектор сможет принять в себя 37462161 м³ жидких отходов, контур закачки имеет форму эллипса с осями, равными 5050 м и 3150 м. Реальность этих расчетов, а также уточненных емкостных параметров пласта-коллектора в процессе опытно-промышленной закачки однозначно подтвердить не удалось из-за удаленности наблюдательных скважин от центра закачки, поэтому для решения этих задач необходим гидрогеохимический мониторинг.

4.3. Перетоки жидких отходов по затрубью и межтрубью скважин. Ухудшение технического состояния скважин на полигонах захоронения отходов является наиболее частой причиной загрязнения вышележащих горизонтов, причем основные трудности связаны с обеспечением герметичности обсадных колонн и заколонной циркуляцией. И хотя за время опытно-промышленной закачки на полигоне с 1994 г по 1999 г не было ни одного случая нарушения герметичности скважин, необходим систематический контроль их технического состояния как составная часть общей системы эколого-геологического мониторинга.

4.4. Фильтрация жидких отходов в грунт из прудов накопителей. Все жидкие отходы от основных и вспомогательных производств направляются в шламонакопитель с суммарным объемом 180 тыс. м³, а оттуда в пруд-осветлитель объемом 180 тыс. м³. Все сооружения ограничены дамбами и выполнены с противοфильтрационными мероприятиями: экран из суглинка, выравнивающего слоя из песка, с укладкой полиэтиленовой пленки, с защитным слоем из грунтов. Несмотря на принятые меры, эти сооружения представляют потенциальную угрозу для окружающей среды.

Вследствие утечек из накопителей и проникновения в агельско - хазарский водоносный горизонт значительных количеств стоков, в нем могут образоваться зоны загрязнения с высоким содержанием загрязняющих веществ. Прорыв дамб накопителей представляет катастрофу для прилегающих территорий. Переполненные накопители создают, даже в обычном эксплуатационном состоянии дефектные геопатогенные зоны, потому что их воздействию подвержены не только водоносные горизонты, но и вся прилегающая к ним территория среды обитания человека. Кроме того, фильтрация жидких отходов в грунт неизбежно вызовет подъем уровня грунтовых вод, подтопление, заболачивание, засоление, а также просадку песчаных грунтов, набухание глин и связанные с этим деформации сооружений. Все это требует организации мониторинга уровня режима, химического состава грунтовых вод и опасных геологических процессов.

Техногенная сейсмичность. Анализ материалов разведочных и опытных работ, а

также сейсмических наблюдений в ходе опытно-промышленной закачки, выполненных на территории полигона закачки, указывает на малую вероятность возникновения опасных возбужденных землетрясений. Вместе с тем полностью исключить возможность землетрясений пока нельзя. Это связано с недостаточной сейсмической изученностью района г. Волжского, ограниченностью имеющихся представлений о механизме возбужденных землетрясений, а также сравнительно малым опытом исследований землетрясений, связанных с закачками жидкости в водоносные горизонты.

Тем не менее такой опыт накоплен в Денвере, на промыслах Рейнджли и Дейл в США, в Мацусиро (Япония) и других местах. В любом случае процесс закачки способствует разуплотнению пород и образованию трещин, что в условиях воздымающегося соляного купола и наличия разломов может стимулировать наведенную сейсмоактивность. Поэтому при эксплуатации полигона необходимо организовать постоянный сейсмический мониторинг и слежение за состоянием зоны тектонических нарушений в процессе возрастания пластового давления.

Глава 5. СТРУКТУРА И ПРОГРАММА МОНИТОРИНГА

5.1. Структура эколого-геологического мониторинга. Исходя из изложенного в гл. 4, структура мониторинга должна быть следующей (рис. 2).

Контролируемые процессы

Вертикальные и горизонтальные движения Паромненской соляной структуры и тектонических разломов

Вертикальная и горизонтальная миграция жидких отходов; фильтрация жидких отходов по западному разлому

Затрубная циркуляция, размыв затрубного пространства
Негерметичность межтрубья

Фильтрация отходов из шламонакопителей

Нарушение регламента закачки

Техногенная сейсмичность

Виды мониторинга

Геодинамический мониторинг, включая спутниковую геодезию
Газогеохимический мониторинг
Гелиметрический мониторинг

Гидрогеохимический мониторинг, метод «меченой» жидкости, электромагнитный мониторинг

Промыслово-геофизический мониторинг (термографический резистивиметрический, акустический); гидравлический мониторинг, мониторинг химического состава межтрубной жидкости

Гидрогеологический мониторинг

Контроль количества и химического состава закачиваемой жидкости

Сейсмический мониторинг

Рис. 2. Структура комплексного мониторинга

5.2. Геодинамический мониторинг современных тектонических движений Паромненской соляной структуры

5.2.1. Эколого-геологическое районирование территории полигона закачки является важным этапом формирования наблюдательной сети на территории полигона [2], поскольку сфера воздействия закачки, рассчитанная на 25 лет, включает три структурных элемента: сводовую часть Паромненской структуры, часть Восточно-Паромненской мульды и склон купола между ними. Тектонические движения в этих зонах имеют различную скорость и даже знак, что оказывает решающее значение при оценке возможного нарушения герметичности скважин и их разрушения. Поэтому наблюдательная геодезическая сеть должна равномерно покрывать все 3 элемента. Достоверность выделения структурных зон подтверждена различиями в коэффициентах тектонической напряженности, определяемых как отношение суммарной длины тектонических разломов в пределах зоны к ее общей площади [3,8]. Величины этих коэффициентов составили: для вершины купола $2,77 \text{ км/км}^2$, склоновой части $0,26 \text{ км/км}^2$, мульды - 0.

5.2.2. Мониторинг вертикальных движений Паромненского соляного купола проектируется методом повторного высокоточного нивелирования на специально оборудованном геодезическом полигоне, из глубинных и грунтовых реперов. Площадь геодинамического полигона примерно 30 км^2 , что позволит учесть сферу взаимодействия полигона закачки с природной средой, категорию сложности природных и техногенных условий. Созданная геодезическая сеть включает в себя как 4 разведочные скважины Паромненской площади, так и все скважины полигона закачки - четыре нагнетательных скважины, 6 наблюдательных и 4 контрольных. Грунтовые репера в количестве 19 штук устанавливаются с учетом размещения глубинных реперов и линий тектонических разломов, образующих различные блоки. Периодичность замеров 2-3 раза в год в течение 3 лет, последующие замеры определяются скоростью движения реперов.

5.2.3. Мониторинг горизонтальных движений в пределах полигона будет осуществлен новейшим методом спутниковой геодезии или методом GPS (Global Positional System). Решение задачи об определении координат пунктов земной поверхности сводится к решению многократной линейной засечки с нескольких (не менее 4-х) спутников Земли, координаты которых в фиксированные моменты времени наблюдений известны.

При продолжительности наблюдений 5-7 часов не менее четырех спутников средняя квадратическая ошибка σ для горизонтальных составляющих вектора, соединяющего пункты наблюдений длиной до 15 км, находится в пределах: $\sigma=(0,5-1,5) \text{ мм}$. Точность определения вертикальной компоненты в 3-5 раз грубее. Такие точностные характеристики показывают перспективность использования систем НАВСТАР и ГЛО-

НАСС для геодинамических исследований.

Измерения - GPS на геодинамическом полигоне в ближайшие 2 года должны вестись с использованием спутниковой системы НАВСТАР с помощью 3-4 приемников типа Trimble 4000SSE и/или 4000Ssi. Измерения ведутся синхронно с интервалом заморов через 15с в течение 5-10 часов. Длительность наблюдений определяется в соответствии с величиной измеряемой дистанции.

Опорная геодезическая сеть и пункты наблюдений принимаются аналогично сети для высокоточного нивелирования.

5.2.4. Газогеохимический мониторинг. Жидкие отходы содержат в себе ряд органических соединений, в нормальных условиях находящихся в газообразном состоянии или имеющих низкую температуру кипения (высокую летучесть). Поэтому не исключено, что эти соединения при определенных физико-химических условиях (высаливание и т.п.) в пластах могут высвободиться из промстоков через эмульсию в газообразную фазу и будут аккумулироваться в пласте с образованием небольших газовых скоплений. В дальнейшем этот газ будет мигрировать к поверхности. Наиболее благоприятное место для миграции газов предполагается в зоне разломов. Поэтому там в первую очередь необходим газогеохимический мониторинг как индикатор проницаемости и активности разломов.

Для мониторинга за состоянием газовой среды необходимо использование существующей сети скважин, создание сети из 4^х дополнительных неглубоких (100 м) скважин вблизи разломов, а также проведение почвенной съемки, приуроченной к сети геодезических реперов. Отбор газовых проб из скважин и с поверхности почвы должен осуществляться не реже 1 раза в квартал.

Газожидкостная гелиметрия. В последнее время появились работы, в которых при экологическом контроле эксплуатации закачки промстоков приоритет отводится гелиметрическим методам в связи с высокой скоростью получения репрезентативной информации при низких материальных затратах. Использование газожидкостной гелиметрии на Астраханском газоконденсатном месторождении (АГКМ) при исследовании флюидов межколонных пространств эксплуатационных скважин позволило сделать следующие выводы: 1) в мульдах гелиеносность флюидов межколонных пространств на несколько порядков ниже, чем в скважинах, пробуренных на куполах или склонах куполов; 2) тектогенез соляных куполов предопределяет повышенную миграцию флюидов из подсолевых отложений по межколонному и заколонному пространству эксплуатационных скважин. Показатель гелиенасыщенности межколонного флюида однозначно определяет состояние цементного кольца колонн технических скважин, техническое

состояние интервалов перфорации и т.д. (Постнов, 1998). Другими словами, на основе этого решается проблема оценки герметичности скважин в процессе движения соляных структур - одна из важнейших при закачке отходов в солянокупольных областях. По гелиеносности вод наблюдательных скважин на АГКМ выявляется также надежность водоупоров, водопритоки и перетоки из соседних водоносных горизонтов и др.

При проведении гелиеметрии следует использовать существующую сеть всех наблюдательных, контрольных и эксплуатационных скважин на полигоне.

5.3. Мониторинг вертикальной и горизонтальной миграции жидких отходов

5.3.1. Гидрогеохимический мониторинг. Для слежения за контуром распространения жидких отходов в пласте-коллекторе предусматриваются наблюдательные скважины, а для контроля за вертикальной миграцией контрольные скважины. Наблюдательные скважины используются и для наблюдений за ростом пластового давления в пласте-коллекторе. Хотя по прогнозному расчету контур распространения жидких отходов за 25 лет эксплуатации достигает только ближайшей наблюдательной скважины 1-Н, остальные скважины расположены далее контура с целью перекрытия возможной ошибки в расчетах.

Пробы из наблюдательных и контрольных скважин должны отбираться в соответствии с общепринятой методикой (А.Ф. Резников). Методика апробирована на действующих полигонах закачки и позволяет четко фиксировать изменения в пластовых жидкостях. При отсутствии роста пластового давления из контрольных скважин отбираются пробы на анализ два раза в год. Частота отбора проб из наблюдательных скважин определяется в зависимости от расчетного времени подхода фронта к наблюдательным скважинам. Для ОАО «Волжский Оргсинтез» на данном этапе эксплуатации достаточно один раз в год. За год до ожидаемого подхода фронта следует увеличить частоту отбора до 1 раза в месяц.

Количество анализируемых ингредиентов не должно быть большим, но обязательно определяются характерные для данного предприятия загрязнения. На «Волжском Оргсинтезе» это анилин и сероуглерод. Анализ должен включать, кроме характерных загрязнений, также: плотность, цвет, pH, HCO_3^- , CO_3^{2-} , NH_4^+ , $\text{Fe}_{\text{общ.}}$, Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^+_{\text{расч.}}$, K^+ и сухой остаток.

5.3.2. Метод меченой жидкости. Для уточнения характера фронта распространения в процессе промышленной эксплуатации будут проведены работы по фиксации продвижения контура закачанной меченой жидкости в наблюдательных скважинах с тем, чтобы избежать строительства дополнительных наблюдательных скважин, так как наибольшую опасность при эксплуатации полигонов закачки представляют именно они,

являясь наиболее вероятным источником вертикальной миграции жидких отходов при ухудшении технического состояния скважин. Для таких наблюдений предназначены скважины 1-Н, 2-Н, 6-Н, которые позволят оценить не только реальные скорости в пласте, но и анизотропию поля скоростей.

Суть метода заключается в следующем. В призабойной зоне каждой из трех скважин создается оторочка меченой жидкости, т.е. жидкости со свойствами, отличными от свойств пластовой жидкости. В дальнейшем, при закачке жидких отходов в рабочую скважину в течение длительного времени, проводятся наблюдения за движением границы оторочки в наблюдательной скважине.

При закачке больших объемов жидких отходов в рабочую скважину 2-Р в течение длительного времени будет происходить сдвиг кольца меченой жидкости в течение времени Т. После прохождения колец меченой жидкости через наблюдательные скважины можно будет определить поле скоростей и уточнить емкостные параметры пласта-коллектора. По расчетам, через два года (720 суток), произойдет сдвиг колец меченой жидкости и расстояние сдвига колец по скважинам составит: 1-Н~12 м, 2-Н~7м, 6-Н~25м.

5.3.3. Электромагнитный мониторинг. Для определения фактических границ контура распространения закачиваемых жидких отходов и их сопоставления с расчетными предполагается также выполнить площадные геофизические работы методом электромагнитной разведки. Их преимуществами являются: получение полной и конкретной информации по всей территории, в то время как наблюдательные скважины дают только точечную информацию; сохранение целостности геологического разреза, в отличие от бурения; возможность регулярных измерений для прослеживания смещения контура распространения закачиваемых жидких отходов во времени; низкая стоимость.

Физические основы и методика предлагаемых работ основаны на различии электромагнитных параметров, в частности магнитной восприимчивости Cl^- и SO_4^- , которые являются доминирующими ионами соответственно естественных подземных вод и закачиваемых промстоков. В процессе мониторинга с применением метода двойного переменного-фазового возбуждения поля (ДПФВ) используются и определяются следующие параметры: характеристическое волновое сопротивление среды; горизонтальная и вертикальная составляющие магнитного поля; горизонтальная составляющая электрического поля и их азимутальные характеристики.

Основой метода является создание электромагнитного поля с конфигурацией, позволяющей получить максимум информации о среде и передачу этой информации на поверхность. Для этого применяются два разобщенных тока, имеющих электромагнит-

ную связь и единый источник: главный - расположенный на глубине исследуемого горизонта; ток гашения - располагающийся на поверхности земли.

5.4. Мониторинг межтрубной и затрубной циркуляции

5.4.1. Мониторинг герметичности межтрубья осуществляется по показаниям образцовых манометров и данным химического состава межтрубной жидкости. Если колонны герметичны и посторонняя жидкость в межтрубье не попадает, разница в показаниях манометра, фиксирующего давление в межтрубье до закачки и после ее окончания, равна разнице давлений в насосной колонне.

Наиболее надежным методом контроля за герметичностью межтрубного пространства является проверка химического состава межтрубной жидкости. Отобранные пробы анализируются на pH, плотность, наличие специфических минеральных ионов или органических соединений. Если проникшие жидкие отходы занимают ограниченный объем внутри пресных вод, заполняющих межтрубье, и не контактируют с жидкими отходами, находящимися в активной зоне забоя - негерметична насосная колонна.

5.4.2. Мониторинг затрубной циркуляции подразделяется на два вида: 1) постоянный контроль по контрольной скважине 4-К за изменением давления и химическим составом пластовой воды, что позволяет четко фиксировать заколонные перетоки; 2) периодический контроль геофизическими методами за изменением температурного поля, состоянием цемента за колонной или продвижением радиоактивных изотопов, позволяющих улавливать незначительные перетоки и своевременно проводить ремонтные работы.

5.5. Гидрогеологический мониторинг в районе прудов-накопителей осуществляется по сети из 6 наблюдательных скважин, которая в настоящее время увеличивается до 18. Контроль за изменением глубины залегания и химического состава подземных вод в результате утечек осуществляется ежеквартально, с оценкой возможности подтопления территории, заболачивания, засоления, просадок и набухания грунтов и деформаций сооружений.

5.6. Контроль закачиваемой жидкости. Система контроля за закачиваемой жидкостью в недра включает в себя наблюдения за количеством закачиваемых стоков, за давлением нагнетания жидкости в нагнетательные скважины, анализ состава закачиваемых жидких отходов, слежение за уровнем жидкости в прудах.

5.7. Сейсмический мониторинг. Исходя из задач и целей сейсмического мониторинга (глава 4), необходима следующая методика наблюдений. Существующий в настоящее время вблизи нагнетательных скважин стационарный пункт сейсмических наблюдений принимается как опорный комплексный пункт. Он будет использован для ус-

тановки различного рода геофизических датчиков для комплексирования геофизических наблюдений. Будут дополнительно оборудованы два пункта наблюдений, которые расположены на расстоянии 500 м по равнобедренному треугольнику. Эти пункты служат для наблюдения за сейсмическим режимом во внутренних точках среды, где уровень сейсмических техногенных шумов резко снижается. Данная конфигурация обеспечит значительное повышение уровня и качества наблюдений. Методика конструирования, изготовления и программного обеспечения предусматривает высокую степень автоматизации регистрации и предварительной обработки сейсмических наблюдений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция мониторинга и рабочие программы большинства видов мониторинга практически реализованы: создан геодинамический полигон и проведены первые измерения вертикальных и горизонтальных деформаций земной коры; продолжается гидрогеохимический мониторинг по наблюдательным и контрольным скважинам за перемещением фронта закачиваемых отходов в вертикальном и горизонтальном направлениях, а также мониторинг фильтрации отходов из прудов-накопителей; мониторинг межтрубной и затрубной циркуляции и контроль закачиваемой жидкости в скважины; расширяется сеть сейсмического мониторинга.

Наибольший интерес представляют первые результаты измерений вертикальных и горизонтальных деформаций земной коры, выполненных Институтом физики Земли с августа 1998 г. по апрель 1999 г.:

- выявлены вертикальные перемещения с амплитудами от +5,9 мм в сводовой части Паромненской структуры (8,85 мм/год) до -3,4 мм на восточном склоне;
- методом GPS обнаружено увеличение длин линий, достигающее максимальных значений (до 33,5 мм) в перпендикулярном направлении между гребнем Паромненской структуры и Восточно-Паромненской мульдой.

Эти данные подтверждают вышесказанные представления о росте купола в современную эпоху (7) и формирования зон растяжения с повышенной флюидопроницаемостью над ним, в том числе и в зоне разломов.

Скорости вертикальных движений земной коры в пределах полигона достигают 8,85 мм/год и значительно превышают установленные ранее величины в Прикаспийской впадине, что требует проведения дополнительных расчетов деформаций скважин применительно к полученным скоростям.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Система геоэкологического мониторинга при подземном захоронении отходов в солянокупольных областях // Техторгконтракт, Межд. коммуникационная сеть, Волгоград, 1998, с.4 / Соавт. Кузнецова С.В.
2. Районирование зон подземного захоронения жидких отходов по уровню тектонической напряженности в связи с созданием мониторинга // Экологическая безопасность городских и теплоэнергетических комплексов. Матер. Межд. научно -практ. конф. Волгоград, 1999, с.232-233.
3. Районирование солянокупольных областей по уровню тектонической напряженности с целью эколого-геологических прогнозов // Экологическая безопасность городских и теплоэнергетических комплексов. Матер. Межд. научно -практ. конф. Волгоград, 1999, с. 236-238 / Соавт. Сияяков В.Н., Кузнецова С.В.
4. Проблемы эколого-геологических исследований на Астраханском газовом комплексе // Вестник ВолгГАСА, серия Ест. науки, вып. 1.- Волгоград, 1999, с. 124-130 / Соавт. Сияяков В.Н., Кузнецова С.В.
5. Закономерности распределения зон тектонической напряженности в пределах Паромненского соляного купола // Поволж. эколог. вестн. Вып. 6.- Волгоград: Изд-во ВолГУ, 1999, с. 72-80 / Соавт. Сияяков В.Н., Кузнецова С.В.
6. The recent movements of salt domes in areas of the liquid waste repositories and problems of monitoring. // City ecology, construction. Intern. scien. and pract. conf., Egypt, Cairo, 1999, p. 47-486 / Co-authors Siniakov V., Kuznetsova S.
7. Проблемы мониторинга современных движений земной коры и общей методики эколого-геологических исследований // Проблемы создания Астраханского геодинамического полигона и эколого-геологических исследований. Матер. научно -практ. конф. Астрахань, 1999 / Соавт. Сияяков В.Н., Кузнецова С.В., Новикова С.В. (в печати)
8. Эколого-геологическое картографирование и изучение солянокупольных структур. Краеведческие чтения. Волгоград, 1999 / Соавт. Сияяков В.Н., Кузнецова С.В. (в печати)
9. К вопросу об экологической безопасности размещения полигонов закачки промышленных отходов в солянокупольных областях // Краевед. чтения. Волгоград, 1999 / Соавт. Кузнецова С.В. (в печати)
10. Оценка тектонической напряженности солянокупольной зоны Волгоградской области // Краеведческие чтения. Волгоград, 1999 / Соавт. Сияяков В.Н., Кузнецова С.В. (в печати)

ОМЕЛЬЧЕНКО НИКОЛАЙ СЕМЕНОВИЧ

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОДЗЕМНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ
ЖИДКИХ ОТХОДОВ В СОЛЯНОКУПОЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ
(на примере полигона захоронки жидких отходов в г.Волжском)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических
наук

Подписано в печать 20.11.99 г.

Объем 1 п.л. Тир. 100 экз.

400074 г.Волгоград, ул.Академическая, 1

Лаборатория оргтехники ВолгГАСА
