



УДК 504.05+551.24

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДЗЕМНОГО ХРАНЕНИЯ ГАЗА В РОССИИ

Э.Р.Казанкова, Н.В.Корнилова (Институт проблем нефти и газа РАН)

На подземных хранилищах газа, эксплуатируемых на территории России, создались и функционируют природно-техногенные системы: геологическая среда — промышленные объекты — жилищные сооружения, характеризующиеся взаимозависимостью всех составляющих. Сформированная таким образом система оказывает влияние на характер протекания всех природных, геологических, геодинамических, экзодинамических и атмосферных процессов, определяющих формирование экологической обстановки.

**Ключевые слова:** подземное хранилище газа; геоэкологическая безопасность; геоэкологический риск; геодинамическая неустойчивость; экогеодинамическое районирование; гидроэкологическая ситуация.

На мировом рынке сырьевых ресурсов Россия является важнейшим поставщиком природного газа. В России действует не имеющая в мире аналогов Единая система газоснабжения (ЕСГ), ее неотъемлемая часть — система подземных хранилищ газа, позволяющая гарантированно обеспечивать потребителей природным газом независимо от времени года, колебаний температуры, непредвиденных обстоятельств. Необходимость и важность подземных хранилищ газа в России обусловлена климатическими особенностями и удаленностью источников ресурсов от конечных потребителей. Подземные хранилища газа подразделяются на резервные и оперативные, что позволяет регулировать сезонную неравномерность потребления газа, снижать пиковые нагрузки в ЕСГ, обеспечивать гибкость и надежность поставок газа.

На сегодняшний день наиболее распространены подземные хранилища газа, созданные в истощенных газовых, газонефтяных или газоконденсатных месторождениях (Елшано-Курдюмское, Песчано-Уметское, Степновское, Кущевское, Краснодарское, Северо-Ставропольское, Аманакское, Дмитровское, Михайловское, Кирюшинское, Совхозное, Канчуринско-Мусинский комплекс и др.) и в водоносных пластах, где вода из порового пространства вытесняется закачиваемым через скважину газом (Гатчинское, Колпинское, Невское, Калужское, Якшуновское, Щелковское, Касимовское, Увязовское). В отложениях каменной соли созданы Калининградское, Волгоградское месторождения, проектируется Новомосковское. Самое большое подземное хранилище газа в мире — Северо-Ставропольское.

Процесс хранения включает системный технологический, геологический и экологический контроль за объектом хранения газа и созданными производственными фондами. Общий объем хранимого газа определяется емкостью создаваемой ловушки и давлением, при котором сохраняется герметичность покрышки.

Подземные хранилища газа по сути происходящих процессов являются сложными системами, поведение которых обуславливается воздействием внешних и внутренних факторов. Эти системы требуют постоянного контроля за состоянием искусственных залежей, покрышек и заколонного пространства скважин, а также за латеральным и вертикальным перемещением флюидов при возникновении перепадов давления [1].

Основными показателями работы подземных хранилищ газа являются герметичность и минимизация негативных последствий его эксплуатации. Эксплуатация подземных хранилищ газа оказывает существенное влияние на ход современных геологических процессов. Природное неустойчивое равновесие среды нарушено асимметричным циклическим режимом работы хранилища. В пластах нарушаются взаимодействия между вмещающими породами, подземными водами, ОВ и растворенными газами.

Геоэкологическая безопасность представляет собой совокупное состояние природных и технических систем, обеспечивающее минимальный уровень нарушения естественного режима их функционирования и неблагоприятного воздействия на геолого-геофизическую среду, живую природу и здоровье людей. Оценка безопасности подразумевает варианты вероятного развития событий в системах на долгосрочную перспективу. Оценка геоэкологического риска — научное исследование, в котором факты и научный прогноз используются для определения потенциально неблагоприятного воздействия. Соответствующий фактический материал может стать основой для метода расчета норм дополнительного поступления консервативных загрязнителей в водоносные горизонты и обосновать допустимые техногенные нагрузки.

Ранее была проведена оценка геодинамической неустойчивости территории и установлены геодинамические условия размещения основных подземных хра-

нилищ газа (действующих, строящихся и проектных) на территории Восточно-Европейской платформы (таблица, рисунок) [2].

Москва — крупнейший потребитель природного газа. В 1946 г. Елшано-Курдюмская газоносная площадь дала жизнь первому дальнему газопроводу России Саратов — Москва. В настоящее время в Москву проведено 15 газопроводов из различных регионов страны [3]. В Москву газ поступает из Калужского, Якшуновского, Щелковского, Касимовского и Увязовского подземных хранилищ газа.

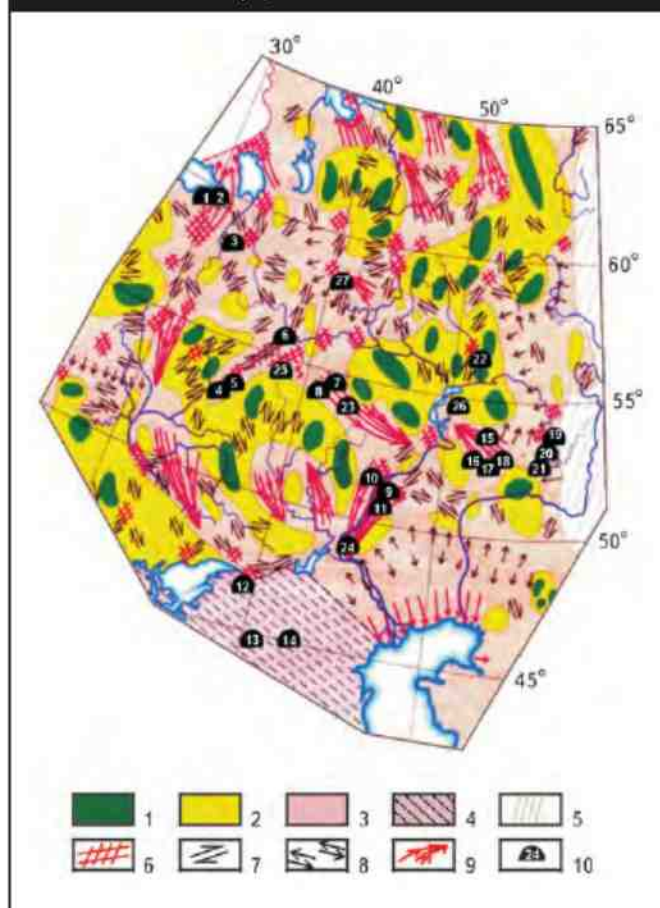
Калужское подземное хранилище газа приурочено к Калужской кольцевой структуре, расположенной в 12-20 км северо-западнее Калуги. Калужская кольцевая структура, довольно крупная, сложная и весьма своеобразная, связанная с кольцевыми разломами, гармонично выражена в фундаменте и во всех горизонтах осадочного чехла. Калужская кольцевая структура характеризуется сложным тектоническим строением и по ряду генетических и морфологических признаков является необычной для центральных районов Восточно-Европейской платформы (развитие дизъюнктивных нарушений

**Геолого-геодинамические условия размещения подземных хранилищ газа (действующих, строящихся и проектных) на территории Восточно-Европейской платформы**

Номер	Подземные хранилища газа	Геологические условия создания подземных хранилищ газа	Геодинамические условия создания подземных хранилищ газа
1	Гатчинское	Единственный в мире объект хранения газа, созданный в моноклинально залегающем водоносном пласте	Нелинейное сжатие, вертикальные колебания и сдвиговые деформации
2	Колпинское	В водоносном пласте	
3	Невское	В водоносном пласте	Сдвиговые деформации и вертикальные колебания
4	Калужское	В водоносных пластах	Вертикальные колебания и сдвиговые деформации
5	Якшуновское		
6	Щелковское		
7	Касимовское	В водоносных пластах	Нелинейное сжатие и сдвиговые деформации
8	Увязовское		
9	Елшано-Курдюмское	В истощенных газонефтяных месторождениях	Нелинейное сжатие и сдвиговые деформации
10	Песчано-Уметское		
11	Степновское	В истощенном нефтегазоконденсатном месторождении	
12	Кушевское	В истощенных газоконденсатных месторождениях	Территория возможной сейсмической активности
13	Краснодарское		
14	Северо-Ставропольское	В истощенном газовом месторождении	Сдвиговые деформации
15	Аманакское	В истощенных газовых месторождениях	Нелинейное сжатие и сдвиговые деформации
16	Дмитровское		
17	Михайловское		
18	Кирюшинское		
19	Канчуринское (Канчуринско-Мусинский комплекс)	В истощенных газоконденсатных месторождениях	Нелинейное сжатие
20	Мусинское (Канчуринско-Мусинский комплекс)		
21	Совхозное		
22	Карашурское (2 объекта)	В водоносных пластах	Сдвиговые деформации и вертикальные колебания
23	Беднодемьяновское	В водоносном пласте	Нелинейное сжатие и сдвиговые деформации
24	Волгоградское	В отложениях каменной соли	Нелинейное сжатие
25	Новомосковское	В отложениях каменной соли	Вертикальные колебания и сдвиговые деформации
26	Арбузовское	В водоносном пласте	Нелинейное сжатие и сдвиговые деформации
27	Скалинское	В водоносном пласте	Нелинейное сжатие, вертикальные колебания, сдвиговые деформации

**КАРТА-СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ  
ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА**

(составлена на основе геодинамической карты  
Восточно-Европейской платформы, Казанкова Э.Р.,  
Сигачева Н.Н., 1995), уменьшено с масштаба 1 : 5 000 000



Территория: 1 – условно геодинамической стабильности, 2 – геодинамической неустойчивости, 3 – повышенной геодинамической неустойчивости, 4 – вероятной сейсмической активности; 5 – складчатые обрамления платформы; участки возможного возникновения короткопериодных деформаций, связанных с преобладанием: 6 – вертикальных движений, 7 – сдвиговых смещений, 8 – растягивающих напряжений, 9 – напряжения сжатий; 10 – подземные хранилища газа

значительной амплитуды, сильная раздробленность кристаллического основания и чехла, наличие мощных массивов кристаллических и осадочных брекчий, разрывные нарушения фиксируются комплексом данных). По результатам исследований наблюдается двух- и трехкратное повторение маркирующих горизонтов в одной и той же скважине (Кацман А.В., Резник Б.А., 1981).

Пластом-коллектором газа является гдовский песчаник мощностью 20 м, залегающий на глубине 800-950 м. Опытно-промышленная закачка газа на Калужском подземном хранилище газа началась в августе 1959 г.

Перетоки газа из хранилища по вертикали были зафиксированы еще в период первых опытно-промыш-

ленных закачек. В результате вертикальной миграции свободный газ обнаружен в коллекторах практически всех водоносных горизонтах площади. В самом верхнем упинском водоносном горизонте газ обнаружен в растворенном виде. В результате многолетних гравиметрических наблюдений установлено латеральное растекание газа во всех вышележащих горизонтах, поступающего туда при вертикальной миграции из основного пласта коллектора. Особенности строения и функционирования подземного хранилища газа определяются сложностью и большим разнообразием способов техногенного вмешательства в геологическую и окружающую среду (Файтельсон А.Ш., Золина С.П., Леонтьев И.А. и др., 1983). Отличительной особенностью работы Калужского подземного хранилища газа служит наличие значительного разбаланса между объемом закаченного и отбираемого газа, что свидетельствует о негерметичности хранилища.

Якшуновское подземное хранилище газа было создано в единой гидродинамической системе с уже действующим Калужским. Якшуновское поднятие примыкает к Калужскому с северо-запада и имеет более сложное тектоническое строение. Сводовая его часть разбита поперечными разломами на три блока. Якшуновская структура является непосредственным продолжением Калужского поднятия в северо-западном направлении и представляет собой цепь локальных воздыманий слоев вдоль разлома, осложненных тремя локальными побочными тектоническими нарушениями различной протяженности и амплитуды.

В районах, примыкающих к Калужскому и Якшуновскому подземным хранилищам газа, действуют три шахты по добыче бурого угля и ряд карьеров, разрабатывающих известняки и глинистое сырье. Территорию пересекают железнодорожные магистрали Москва – Киев и Тула – Смоленск, имеется широкая сеть шоссейных дорог. То есть, создавалась и функционирует природно-техногенная система. В изменении характеристик среды при работе подземных хранилищ газа особенно велика роль флюидов. Отбор и закачка газа в пласт изменяют объем трещинного и порового пространства, внутрипластовое давление, свойства самого флюида.

Эти процессы протекают гораздо быстрее и контрастнее, чем естественные геодинамические, и, таким образом, возникает несогласованность техногенных воздействий на среду с ее естественным состоянием.

Щелковское подземное хранилище газа находится в 30 км от Москвы. Пластом-коллектором служит верхняя песчаная пачка нижнещигровских отложений мощностью до 16 м, залегающих на глубине 900-950 м. Опытно-промышленная закачка здесь началась в октябре 1961 г. (Резник Б.А., Горева А.Д., Лерман В.А., 1987).

На Щелковском подземном хранилище газа, по данным гравиметрических исследований, наблюдается продвижение газа в восточном направлении. Несмотря

на систематическое увеличение объемов закачки газа, положение газодляющего контакта в своде поднятия не меняется с 1966 г. Это свидетельствует о растекании газа по площади. За годы многолетней эксплуатации Щелковского подземного хранилища газа стала ясна тенденция усиления ряда неблагоприятных факторов, отражающая проникновение УВ в верхние горизонты. В процессе эксплуатации обнаружены перетоки газа в вышезалегающие горизонты. Существование перетоков подтверждается появлением газа в окско-серпуховском горизонте, залегающем выше основного пласта-коллектора примерно на 500-600 м, и периодическим обнаружением свободного газа в скважинах, расположенных в районе седловины, разделяющей Щелковское и Солнцевское поднятия (Файтельсон А.Ш., Кутенина Т.П., Леонтьев И.А. и др., 1985). К настоящему времени в результате вторичной миграции свободный газ обнаружен в коллекторах почти всех водоносных горизонтов площади [4, 5].

Геологическими причинами перетоков и утечек газа за пределы пласта-коллектора могут быть: наличие тектонических нарушений и ослабленных проницаемых зон, непосредственный контакт продуктивного пласта с проницаемыми отложениями, наличие литологических «окон» (в основном песчаных) в основной крышке, непосредственно перекрывающей пласт-коллектор, опесчанывание пород крышек и др. Вертикальные перетоки газа, по-видимому, инициируются частичным снятием давления над газовой залежью. Так как скорость проникновения газа в отдельные литологические пачки неодинакова, то избыточное давление при закачке и пониженное в конце отбора создают дополнительные возможности для перетоков и утечек газа.

Наличие газонасыщенной мощности нижнещигровского коллектора и свободного газа в окско-серпуховском горизонте свидетельствует о том, что в пределах северо-восточного участка нарушения герметичности залежи происходят как латеральные утечки газа, так и достаточно интенсивные вертикальные перетоки. В результате осуществляется движение газовой залежи в северо-восточном направлении, в сторону Солнцевского поднятия, и возможно образование резервуара аккумуляции мигрировавшего газа за пределами Щелковской структуры, откуда он частично возвращается при отборе газа.

Решение проблем территорий со столь высокой антропогенной нагрузкой, как Щелково, где расположено Щелковское подземное хранилище газа, связано в основном с определением зависимости между масштабами и уровнями загрязнения окружающей среды и тяжестью последствий для людей. По данным Г.М.Кучина (1997), в этом регионе высока степень загрязнения водных бассейнов. По результатам исследований воды р. Клязьма выявлено ее качество. По отдельным компонентам значения предельно допустимых концентраций превышены в десятки раз. По содержанию железа, цветности, мут-

ности, жесткости и фтору артезианская вода также не соответствует ГОСТу «Питьевая вода». Основными источниками загрязнения кроме Щелковского подземного хранилища газа являются Щелковское межрайонное производственное управление станций аэрации (ЩМПУСА), производственные и сельскохозяйственные предприятия, Чкаловский аэродром [4, 5].

Результаты наблюдений по контрольным скважинам для всех водоносных горизонтов позволили выявить приуроченность повышенных значений гидрогеохимических параметров к сводовой, северо-восточной и юго-западной присводовой частям структуры. По степени загрязненности (от большей к меньшей) водоносные горизонты можно расположить в следующий ряд – окско-серпуховский, московский, касимовский, клязьминский. В пределах Щелковского подземного хранилища газа возможным источником загрязнения водоносных горизонтов, залегающих выше эксплуатируемого щигровского пласта-коллектора, могут быть рассолы щигровских отложений с минерализацией 129-131 г/дм<sup>3</sup> и УВ-газ, закачиваемый и отбираемый из указанного пласта [1].

Особенности строения и функционирования подземных хранилищ газа определяются сложностью и большим разнообразием способов техногенного вмешательства в геологическую и окружающую среду. На сегодняшний день на всех хранилищах отмечается наличие водоразвращенного газа в водоносных горизонтах, расположенных выше пласта-коллектора [3, 4, 6].

Прогнозирование развития гидрогеоэкологической ситуации производится на основе исследования взаимодействия подземных вод, как одного из компонентов экосистем, с другими компонентами в естественных и нарушенных условиях [7]. Оно же создает основу для принятия решений и обоснования допустимых техногенных нагрузок на водоносные горизонты. Причина негативных экологических явлений заключается в несогласованности техногенных воздействий на среду. В пластах, вскрытых скважинами, происходят геодинамические процессы, обусловленные тремя основными факторами: а – изменением эффективных напряжений в скелете горной породы за счет изменения порового или трещинного давления жидкости; б – изменением коэффициента трения вдоль трещин сдвига, ориентированных в соответствии с региональным полем напряжений; в – формированием зародышей трещин за счет быстрых геохимических реакций типа гидратация – дегидратация на контакте твердая фаза – жидкость, а также температурных деформаций. Таким образом, формируются сложные взаимодействия разнообразных факторов, в том числе частично или полностью неподдающиеся контролю.

### Заключение

На территории Российской Федерации эксплуатируется 26 подземных хранилищ газа [8]. В системе га-

зоснабжения центрального региона определяющее значение имеет Касимовское подземное хранилище газа, доля закачки и отбора газа которого составляет не менее 75 % суммарных показателей по подземным хранилищам газа, далее по значимости стоят Увязовское и Щелковское, доля которых составляет около 10 % соответственно [9].

На подземных хранилищах газа создались и функционируют **природно-техногенные системы**: геологическая среда — промышленные объекты — жилищные сооружения, характеризующиеся взаимозависимостью всех составляющих. Сформированная таким образом система оказывает влияние на характер протекания всех природных, геологических, геодинамических, приповерхностных (экзодинамических) и атмосферных процессов и, как следствие, определяет формирование экологической обстановки.

Таким образом, многофакторные процессы, протекающие в природно-техногенных системах, определяют сложность их изучения [5, 6].

#### Выводы

Подземные хранилища природного газа являются источниками мощного техногенного воздействия на геологическую среду. Последствия глубинных трансформаций пористой структуры пласта-коллектора носят, как правило, негативный характер и обуславливают необратимые изменения значительных объемов гидросферы, литосферы и биосферы [10].

Изучение роли геодинамических процессов в формировании проницаемых участков дает возможность определить масштаб возможных негативных ситуаций при эксплуатации подземных хранилищ газа. Знание особенностей экогеодинамических условий, изучение влияния антропогенной деятельности на состояние окружающей среды, определение критериев, оценок устойчивости и предельных нагрузок на геологические системы позволят обосновать масштабы негативных последствий экологически неоправданного хозяйственного использования территории. Сложившиеся условия предопределили необходимость и нетрадиционный характер разработки соответствующих геодинамических исследований и определения экологической техноёмкости территорий [2, 3].

#### Литература

1. **Евик В.Н.** Мониторинг геологической среды при эксплуатации Щелковского подземного хранилища газа / В.Н.Евик, С.А.Варягов, И.В.Павлюкова, Ю.Ю.Смирнов // Сб. научных трудов. Серия Нефть и газ. — Ставрополь: Изд-во Сев-КавГТУ, 2009. — Вып. 2.
2. **Казанкова Э.Р.** Геодинамические и геоэкологические условия размещения подземных хранилищ газа (ПХГ) на территории Восточно-Европейской платформы / Э.Р.Казанкова, Н.В.Корнилова // Тез. 5-й Междунар. конф. "Новые идеи в науках о земле". — М., 2001.

3. **Казанкова Э.Р.** Геоэкологические проблемы Московского региона / Э.Р.Казанкова // Научные труды ежегодных Реймерсовских чтений, VI. — М., 1999. — Вып. 5.

4. **Казанкова Э.Р.** Геодинамическая модель Щелковского поднятия / Э.Р.Казанкова, Н.В.Корнилова, Н.Н.Сигачева // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. — М.: Наука, 2000.

5. **Казанкова Э.Р.** Геоэкологические проблемы подземных хранилищ газа (на примере Московского региона) / Э.Р.Казанкова, Н.В.Корнилова // Бюл. МОИП, отдел биологический. Прил. 1. Ч.1. — 2009. — Т. 114. — Вып. 3.

6. **Казанкова Э.Р.** Оценка геоэкологического риска с позиции новой геодинамической концепции (на примере Калужского и Якшунского подземных хранилищ газа) / Э.Р.Казанкова, Н.В.Корнилова, Н.Н.Сигачева // Тез. 2-й науч.-тех. конф. «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса». — М.: Нефть и газ, 1997.

7. **Орлов М.С.** Гидрогеоэкологическое обоснование управляющих решений в городском хозяйстве Москвы / М.С.Орлов / Под ред. В.В.Панькова, С.М.Орлова // Геоэкология урбанизированных территорий. Сб. тр. Центра практической геоэкологии. — М.: Изд-во ЦПГ, 1996.

8. **Воронова В.В.** Разработка методики оценки перспективности водоносных трещиновато-пористых карбонатных коллекторов для создания подземных хранилищ газа: автореф. дис. ... канд. тех. наук / В.В.Воронова. — М.: Изд-во ИПНГ РАН, 2014.

9. **Постановление** Правительства Москвы № 741-ПП от 24.08.2010 г. О схемах газоснабжения города Москвы на период до 2020 года. Приложение № 2. — Режим доступа: <http://www.mosopen.ru/>.

10. **Дроздова С.Б.** Цифровые инженерно-геологические картографические модели планирования подземных хранилищ газа (на примере Щелковского подземного хранилища газа): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. н. / С.Б.Дроздова. — М.: Изд-во ИГЭ РАН, 2010.

© Э.Р.Казанкова, Н.В.Корнилова, 2016

*Эльвира Ромуальдовна Казанкова,*  
старший научный сотрудник,  
[Elvira.Kazankova@mail.ru](mailto:Elvira.Kazankova@mail.ru);

*Наталья Вячеславовна Корнилова,*  
научный сотрудник,  
[nataliakornilova@rambler.ru](mailto:nataliakornilova@rambler.ru).

#### GEOECOLOGICAL ISSUES OF UNDERGROUND GAS STORAGE IN RUSSIA

*Kazankova E.R., Kornilova N.V. (Oil and Gas Research Institute RAS)*

Underground gas storages in Russia form natural-industrial systems that consist of geological environment, industrial sites and accommodation facilities interconnected with each other. The system influences all natural, geological, geodynamic, exodynamic and atmosphere processes that determine ecological situation.

**Key words:** underground gas storage; geoecological safety; geoecological risk; geodynamic instability; ecogeodynamic zonation; hydroecological situation.