

## Экология недр на объектах нефтегазового комплекса с позиции нелинейной геодинамики (на примере подземных хранилищ газа)

Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В.

*Институт проблем нефти и газа РАН (ИПНГ РАН), Москва, Elvira.Kazankova@mail.ru; nataliakornilova@rambler.ru*

**Аннотация.** На основе районирования территории Восточно-Европейской платформы и Северо-Кавказской НГП по степени геодинамической неустойчивости установлены условия размещения девяти подземных хранилищ газа. Изучена экогеодинамическая ситуация (с позиции нелинейной геодинамики) на Калужском, Якшуновском, Щелковском, Невском, Касимовском, Увязовском, Кушевском, Краснодарском и Северо-Ставропольском ПХГ.

**Ключевые слова:** нелинейная геодинамика, геологическая среда, неустойчивость, хранение, углеводороды, подземные хранилища газа.

## Subsurface ecology at oil and gas facilities from the perspective of nonlinear geodynamics (on the example of underground gas storages)

Kazankova E.R., Kornilova N.V.

*Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences (IPNG RAS), Moscow, Elvira.Kazankova@mail.ru, nataliakornilova@rambler.ru*

**Abstract.** On the basis of zoning of the territory of the East European platform and the North Caucasian NGP by the degree of geodynamic instability, conditions for placing nine underground gas storage facilities are established. The eco-geodynamic situation (from the position of nonlinear geodynamics) is studied on Kaluzhskom, Yakshunovskoye, Schelkovskoye, Nevskoye, Kasimovskoye, Uvyazovskoye, Kushchevskoye, Krasnodarskoye and Severo-Stavropol'skoye UGS.

**Key words:** nonlinear geodynamics, geological environment, instability, storage, hydrocarbons, underground gas storage.

подавляющее большинство объектов традиционного геологического анализа, строго говоря, являются объектами не классической, а нелинейной геологии – науки о процессах упорядоченности, структурирования, организационных процессах, дифференциации (Иванюк и др., 1996). Нелинейная геодинамика исследует упорядочивающие процессы, регулярные явления, процессы структурно-вещественной дифференциации. Геологическая среда, как и все в окружающем мире, нелинейна. Ее адекватно может описать только нелинейная геодинамика (Горяинов и др., 2001). Геодинамические процессы имеют ряд общих признаков, связанных с особенностями строения литосферы, инициирования и механизма протекания.

Хозяйственная деятельность человека активно изменяет ход и направление многих естественных процессов и явлений. Направленность и закономерность изменений природной геолого-геофизической среды вызывает искусственное усиление или ослабление естественных геодинамических процессов и явлений, что нередко совпадают с направленностью и интенсивностью развития последних.

Геодинамический анализ среды основывается на новом методологическом подходе использования механизма взаимосвязи и соподчинения напряженно-деформированного состояния территории, динамики и кинематики современных разноранговых пространственно-временных, неустойчивых подвижных блоков земной коры, как следствия разноуровневых и разномасштабных процессов передачи энергии и переноса вещества.

Для обеспечения геодинамической безопасности на объектах нефтегазового комплекса необходимо проведение специальных исследований, включающих в себя: оценку геодинамического режима региона добычи и хранения углеводородов, а также по трассам трубопроводов. Исследова-

ния могут включать: оценку исходного напряженно-деформированного состояния пород коллектора и вмещающего массива; тенденции и механизмы (модели) деформирования их вследствие добычи нефти и газа; оценку геодинамических рисков; обоснование безопасного расположения объектов нефтегазового и разработку превентивных безопасных мероприятий по обеспечению безопасности добычных и транспортных работ и устойчивости основных конструкций и сооружений; геодинамический мониторинг добычи и транспортирования углеводородного сырья (Мельников и др., 2009).

Подземные хранилища газа (ПХГ), как объекты нефтегазового комплекса, являются источниками мощного техногенного воздействия на геологическую среду. Циклический режим работы хранилища нарушает природное неустойчивое равновесие среды. В пластах нарушаются взаимодействия между вмещающими породами, подземными водами, органическим веществом и растворенными газами (Казанкова и др., 2000; Казанкова и др., 2016).

Подземные хранилища газа, по сути происходящих процессов, являются сложными системами, поведение которых обуславливается воздействием внешних и внутренних факторов. Эти системы требуют постоянного контроля за поведением искусственных залежей, состоянием покрышек и заколонного пространства скважин, а также за горизонтальным и вертикальным перемещением флюидов при возникновении перепадов давления (Евик и др., 2009). Изучение роли геодинамических процессов позволит определить масштаб возможных негативных ситуаций при эксплуатации ПХГ. Знание особенностей геодинамических условий, изучение влияния антропогенной деятельности на состояние окружающей среды, определение критериев, оценок устойчивости и предельных нагрузок на геологические системы позволит обосновать масштабы негативных последствий экологически неоправданного хозяйственного использования территории.

На основе районирования территории Восточно-Европейской платформы и Северо-Кавказской НГП по степени геодинамической неустойчивости установлены условия размещения девяти подземных хранилищ газа (табл. 1, рис. 1) (Казанкова и др., 2009; Казанкова и др., 2016).

Таблица 1. Геолого-геодинамические условия размещения подземных хранилищ газа.

Table 1. Geological and geodynamic conditions of underground gas storage.

№ п/п	ПХГ	Геологические условия создания ПХГ	Геодинамические условия создания ПХГ
1	Невское	В водоносном пласте	В условиях сдвиговых деформаций и вертикальных колебаний
2 3 4	Калужское Якшуновское Щелковское	В водоносных пластах	В условиях вертикальных колебаний и сдвиговых деформаций
5 6	Касимовское Увязовское	В водоносных пластах	В условиях нелинейного сжатия и сдвиговых деформаций
7 8 9	Кущевское Краснодарское Северо-Ставропольское	В истощенных газоконденсатных месторождениях В истощенном газовом месторождении	Территория возможной сейсмической активности. В условиях сдвиговых деформаций

В изменении характеристик геологической среды при работе подземных хранилищ газа особенно велика роль флюидов. Как отбор, так 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.

Геологическими причинами перетоков и утечек газа за пределы пласта-коллектора, могут быть: наличие ослабленных проницаемых зон и тектонических нарушений, непосредственный контакт продуктивного пласта с проницаемыми отложениями, наличие литологических «окон» (в основном песчаных) в основной покрышке, непосредственно перекрывающей пласт-коллектор, опесчанивание пород покрышек и другие.

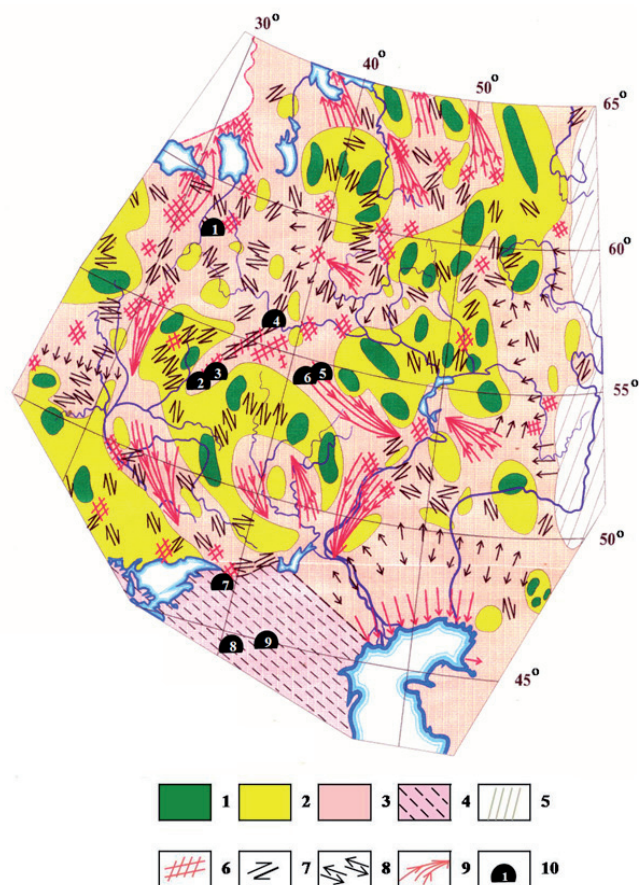


Рис. 1. Геодинамическая карта Восточно-Европейской платформы (уменьшено с масштаба 1: 5 000 000) (Казанкова и др., 2016).

1 – территория условно геодинамической неустойчивости, 2 – территория геодинамической неустойчивости, 3 – территория повышенной геодинамической неустойчивости, 4 – территория 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 – напряжений сжатия; 10 – подземные хранилища газа (1 – Невское, 2 – Калужское, 3 – Якушунское, 4 – Щелковское, 5 – Касимовское, 6 – Увязовское, 7 – Кушевское, 8 – Краснодарское, 9 м Северо-Ставропольское ПХГ).

Fig. 1. Geodynamic map of the East European platform (reduced from scale 1: 5 000 000) (Kazankova et al., 2016).

1 – the territory of conditionally geodynamic instability, 2 – the territory of geodynamic instability, 3 – the territory of increased geodynamic instability, 4 – the territory of probable seismic activity, 5 – folded framing of the platform; areas of possible occurrence of short-period deformations associated with the predominance of: 6 – vertical

movements, 7 – shear displacements, 8 – tensile stresses, 9 – compression stresses; 10 – underground gas storage (1 – Nevskoe, 2 – Kaluzhskoe, 3 – Yakshunovskoe, 4 – Schelkovskoe, 5 – Kasimovskoe, 6 – Uvyazovskoe, 7 – Kushchevskoe, 8 – Krasnodarskoe, 9 – Severo-Stavropol'skoe UGS).

Вертикальные перетоки газа, по-видимому, инициируются частичным снятием давления над газовой залежью. Так как скорость проникновения газа в отдельные литологические пакеты неодинакова, то избыточное давление при закачке и пониженное в конце отбора создают дополнительные возможности для перетоков и утечек газа.

За годы многолетней эксплуатации подземных хранилищ газа стала ясна тенденция усиления ряда неблагоприятных факторов, отражающая проникновение углеводородов в верхние горизонты. В настоящее время на всех хранилищах отмечается наличие водорастворенного газа в водоносных горизонтах, расположенных выше пласта-коллектора. Результаты приповерхностной газовой съемки на отдельной группе действующих ПХГ показывают, что миграция газа достигает верхнего слоя почвы и атмосферного воздуха.

С позиции нелинейной геодинамики установлены возможные направления перетоков флюидов. На Невском ПХГ вероятное субширотное западное – северо-западное направление. На Калужском, Якушунском и Щелковском ПХГ – северо-восточное – юго-западное, на Касимовском в юго-западное, на Кушевском, Краснодарском и Северо-Ставропольском в западном и восточном направлениях.

Чрезвычайно сложное взаимодействие в природно-технических системах природных объектов и видов технической деятельности определяет сложность ее изучения и определения порога опасности. Подземные хранилища газа представляют собой природно - технические системы, характеризующиеся тесной взаимозависимостью с активной, нелинейной и изменчивой во времени геолого-геофизической средой, установленными связями составляющих их элементов и конкретными механизмами реализации этих связей.

Исследования позволяют оценить степень вовлеченности геодинамических процессов различного масштаба в процесс функционирования объектов нефтегазового комплекса, что позволяет прогнозировать развитие техногенной ситуации. Изучение роли геодинамических процессов в формировании проницаемых участков позволит определить масштаб возможных негативных ситуаций при эксплуатации ПХГ.

Принимая во внимание возможность возникновения межпластовых перетоков (худший вариант) пластовых флюидов и зная основные продукты загрязнения (углеводородный газ, метанол, фенол и другие), можно прогнозировать (моделировать) возможные условия загрязнения окружающей среды еще на стадии проектирования подземных хранилищ газа.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности (фундаментальные, поисковые и прикладные исследования)»)

### Литература

1. Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. М. Изд-во: ГЕОС. 2001. 312 с.
2. Евик В.Н., Варягов С.А., Павлюкова И.В., Смирнов Ю.Ю. Мониторинг геологической среды при эксплуатации Щелковского подземного хранилища газа. Сборник научных трудов. Серия Нефть и газ. Ставрополь: Изд-во СевКавГТУ. 2009. Вып. №2. С 18–24.
3. Иванюк Г.Ю., Горяинов П.М., Егоров Д.В. Введение в нелинейную геологию. Апатиты: КНЦ РАН. 1996. 185 с.
4. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Геоэкологические проблемы Невского подземного хранилища газа с позиции нелинейной геодинамики / Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи. Сб. ст. М.: РУДН. Ответственный редактор В.И. Осипов. 2016. С. 293–298.
5. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Геоэкологические проблемы подземного хранения газа в России // Геология нефти и газа. 2016. № 3. С. 102–108.
6. Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В. Геоэкологические проблемы подземных хранилищ газа (на примере Московского региона) / Бюллетень МОИП. М. 2009. Отдел биологический. Т. 114. Вып. 3. Приложение 1. Ч. 1. С. 388–397.
7. Казанкова Э.Р., Судо Р.М. Нелинейная геодинамика и экология недр (с позиции самоорганизации полей напряжений) / Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Сб. ст. М.: ГЕОС. 2000. С. 359–364.
8. Мельников Н.Н., Калашник А.И., Калашник Н.А. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря. М. Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 4. С. 601–608.