

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

А.И. Калашник, Н.Н. Мельников
Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты

Перспективы развития российского сектора Баренц-региона связаны прежде всего с освоением нефтегазовых месторождений Баренцева и Печорского морей. Наряду с известными сложными природными арктическими условиями здесь возможны геодинамические проблемы, как при обустройстве месторождений, так и при добыче и транспортировании углеводородов. Кольский регион является геодинамически активным: при отработке Хибинских и Ловозерских месторождений произошли индуцированные землетрясения, приведшие к катастрофическим разрушениям подземных горных выработок и наземных сооружений и коммуникаций [1]. При этом область разрушающего воздействия землетрясений в десятки раз превышала по размерам район ведения горных работ.

Необходимость учета последствий опасных геодинамических процессов обусловлена:

- значительными сроками осуществления проектов (50 лет и более);
- крупномасштабным антропогенным воздействием на естественное состояние недр, приводящим к нарушению состояния пород и активизации опасных геологических процессов, развитием деформаций в продуктивных пластах и вмещающем массиве пород в процессе откачки нефти и газа;
- возникновением риска развития катастрофических проседаний, оползней, подвижек пород, техногенных землетрясений;
- пересечением значительного числа тектонических разломов, аномалий рельефа, водных объектов и т.п. линейными протяженными объектами нефтегазового комплекса (нефтегазопроводами);

Обустройство и эксплуатация нефтегазовых месторождений в пределах Баренцева и Печорского морей без учета геомеханических процессов может привести к формированию условий возникновения и реализации разрушающих геодинамических явлений [2, 3]: оседаний, оползней, землетрясений и, как следствие, – к социально-экономическому и экологическому ущербу, потерям и недоиспользованию запасов

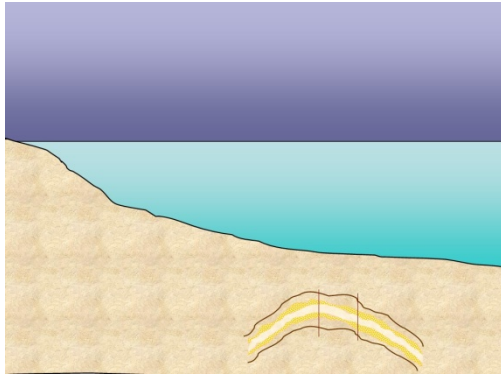
углеводородов. Подтверждением этого является накопленный к настоящему времени мировой опыт как сухопутных, так и морских (шельфовых) нефтегазовых разработок.

Наиболее ярким примером является разрабатываемое в Северном море месторождение Экофиск, на котором за более чем 30 лет добычи произошло проседание морского дна над центральной его частью на глубину более 7 м, приведшее к значительным техническим и экономическим последствиям. Вследствие такого проседания основания ряда платформ и внешняя стенка нефтехранилища оказались недопустимо низкими по отношению к уровню моря, и потребовалось провести работы по наращиванию и подъему оснований платформ и возведению дополнительной, более высокой внешней стены нефтехранилища. Значительное проседание дна моря также привело к деформации и повреждениям расположенных на его дне трубопроводов и конструкций. За несколько лет на эксплуатационных скважинах было выполнено более 70 повторных ремонтных работ, направленных на ликвидацию разрывов в зонах цементирования, сплющивания или разрушения обсадных труб. По разным оценкам, затраты на выполнение этих работ превысили \$ 400 млн [3, 4].

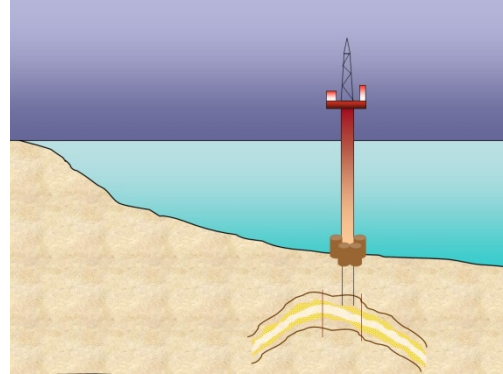
Важным, а порой и определяющим геодинамическим фактором на объектах нефтегазодобычи является наведенная сейсмичность. Макропроявления сейсмичности в виде техногенных и индуцированных землетрясений относительно редки, но их разрушающее влияние, а также вызываемый социально-экономический и экологический ущерб очень велики. Авторами собрана и проанализирована информация по фактам произошедших техногенных землетрясений на эксплуатируемых нефтегазовых месторождениях, а также по землетрясениям, индуцированным добычей нефти и газа. Выявлено, что землетрясения с магнитудой от 3 до 7 и выше баллов происходят как на газовых, так и на нефтяных месторождениях и могут приводить к катастрофическим разрушениям (Нефтегорское (Россия), Газлийское (Узбекистан), Лак (Франция) и др.) [5].

На развитие опасных геодинамических явлений (проседания и смещения пород, землетрясения, а также вызванные ими оползни, пустоты, газовые каналы и выбросы, грязевые вулканы, генерация волн) влияет большое количество факторов и условий, но в основе этих явлений лежат геомеханические процессы (рис. 1) (Кузьмин Ю.О., 1999 г.; [5]). Именно недооценка влияния геомеханических процессов приводит к формированию условий возникновения необратимых геодинамических явлений, разрушающих скважины, трубопроводы и добывающие устройства и сооружения [2, 5–7].

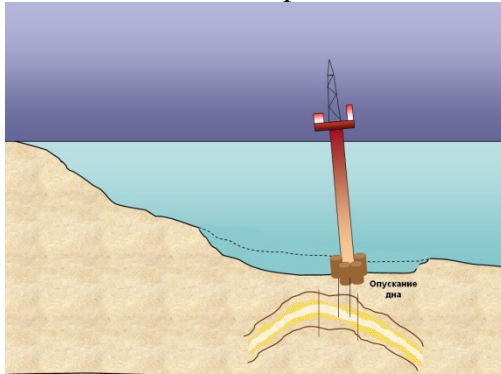
а – естественное состояние



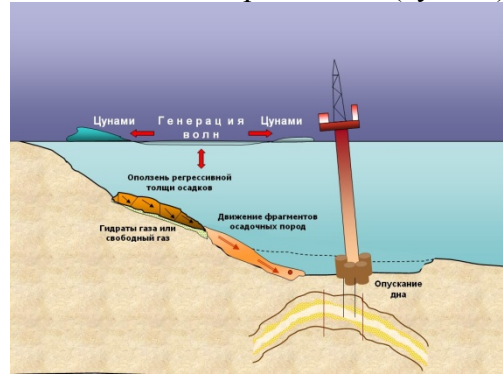
б – вовлечение в эксплуатацию



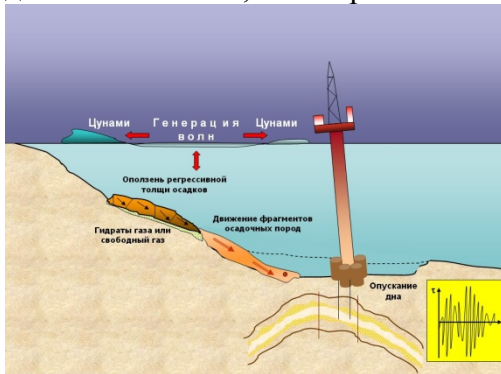
в – оседание дна моря



г – оползни и генерация волн (цунами)



д – сейсмичность, землетрясения



е – грязевые вулканы и газовые каналы

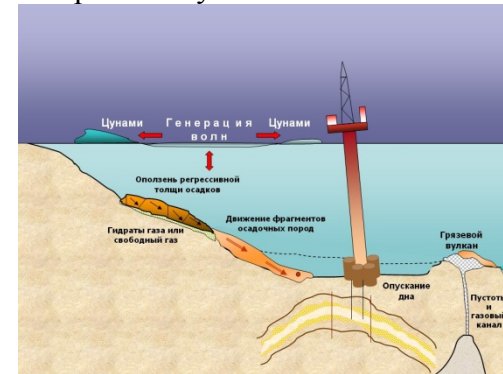


Рис. 1. Модельное отображение геодинамических процессов при разработке морских нефтегазовых месторождений

Нефтегазодобывающее предприятие с вмещающим его участком геологической среды образует сложную открытую природно-техническую систему (ПТС), эволюция которой осуществляется по известному алгоритму [8] – с чередованием стадий линейного

и нелинейного развития, с возможностью скачкообразного перехода или бифуркации. При этом необходимо подчеркнуть, что речь в данной работе идет о геомеханической эволюции геологической среды ПТС, где в результате энергетического взаимодействия различных объектов имеет место пространственно-временная локализация событий, среди которых могут быть и опасные геодинамические явления типа одномоментных катастрофических проседаний, крупномасштабных оползней и техногенных землетрясений.

Концептуальная модель геомеханической эволюции нефтегазовой природно-технической системы (НГ ПТС) показана на рис. 2. При этом главным управляющим параметром, в соответствии с подходами Летникова Ф.А. [9], принята энергия W . На начальном этапе (t_1-t_2) эволюция НГ ПТС идет в устойчивом линейном детерминированном режиме. Параметры этого режима обеспечивают адаптацию НГ ПТС к конкретным условиям геологической среды и могут определяться на основе геомеханической модели массива горных пород с учетом технологических и экономических показателей. Адаптация – в определенной мере процесс прогнозируемый, поскольку параметры этого режима меняются в заранее заданных пределах, силовые и граничные условия, как правило, известны и могут адекватно задаваться для модельных исследований.

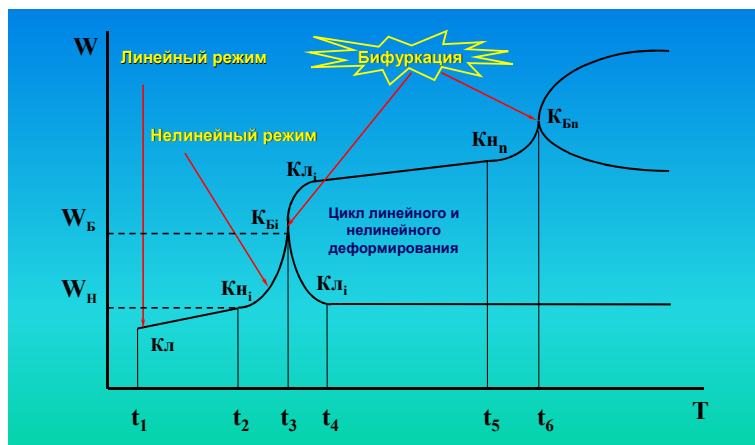


Рис. 2. Концептуальная модель геомеханической эволюции НГ ПТС.
Обозначения – см. в тексте

Аналитические и численные методы геомеханики позволяют прогнозировать параметры адаптации НГ ПТС на начальных стадиях освоения нефтегазового месторождения. Но надежность этого прогноза определяется достоверностью исходной

информации и степенью адекватности расчетных моделей физической природе процессов, протекающих в геомеханическом пространстве НГ ПТС [6, 10].

Когда управляющий параметр W достигает определенных значений W_H (точка K_{HI} на рис. 2), НГ ПТС переходит в стадию нелинейного развития (интервал t_2-t_3) – стадию неустойчивости, которая завершается бифуркацией, т.е. ветвлением путей эволюции при переходе через пороговое состояние (точка $K_{Bi} - W_B$). Термин «бифуркация» иногда заменяют термином «катастрофа», что в нефтегазовом деле более соответствует характеру рассматриваемых процессов, поскольку одной из ветвей дальнейшего развития такой системы может быть одномоментное проседание, крупномасштабный оползень или техногенное землетрясение. В период t_3-t_4 идет скачкообразное развитие системы с активной диссипацией энергии и образованием новых структур (нисходящая ветвь $K_{Bi} - K_{Li}$) или с аккумуляцией энергии (восходящая ветвь $K_{Bi} - K_{Li}$). Затем, при условии притока новой порции энергии, цикл повторяется (интервал t_4-t_6) и т.д.

Мурманский регион фактически уже сейчас является крупным транспортным центром, обеспечивающим доставку нефти и газа как по трубопроводам, так и морским путем. В ближайшей перспективе могут быть введены в строй газопроводы со Штокмановского месторождения (подводная часть – от месторождения до побережья (п. Териберка), сухопутная часть – от п. Териберка до г. Волхов), с последующим подключением к газопроводу «Северный поток» (Nord Stream) [11], а также нефтепроводы с месторождений Западной Сибири в порт Мурманска [12].

Мурманский регион характеризуется сложными арктическими условиями, и к тому же здесь инструментально зафиксированы активные современные движения земной коры, ряд природных и техногенных (обусловленных и вызванных крупномасштабными горными работами) землетрясений магнитудой до 5–7 баллов [13]. Профиль проектируемых трасс трубопроводов является весьма изменчивым, с перепадом высот от 0 до 400 м, с пересечением более 70 крупных водных объектов и ряда активных тектонических разломов и зон [2]. Поэтому в целях обеспечения безопасности сооружения и эксплуатации системы магистральных трубопроводов здесь необходимо геомеханическое и геодинамическое обоснование как местоположения самих трасс, так и прочностных характеристик (с учетом знакопеременных медленных и быстрых сейсмических воздействий) основных конструкций, обеспечивающих сопряжение трубопровода с геологической средой.

В заключение необходимо отметить следующее.

Для обеспечения геодинамической безопасности работ и устойчивости конструкций нефтегазовых объектов Баренц-региона и трубопроводного транспортирования углеводородного сырья необходимо проведение специальных геомеханических исследований, включающих в себя:

- оценку геодинамического режима районов добычи, переработки, хранения и транспортировки углеводородов;
- оценку исходного напряженно-деформированного состояния пород коллекторов и вмещающего массива, прогноз их изменений вследствие извлечения УВ;
- выявление тенденции и механизмов деформационных процессов, обусловленных добычей нефти и газа;
- идентификацию факторов, определяющих условия и механизм деформирования коллекторов и перекрывающих толщ пород;
- количественную оценку геодинамических рисков;
- разработку методологии управления геодинамическими рисками;
- обоснование экологически безопасного расположения объектов нефтегазового комплекса, в том числе трасс трубопроводов;
- разработку превентивных геомеханических мероприятий по обеспечению безопасности работ и устойчивости основных конструкций и сооружений;
- геодинамический мониторинг регионов добычи и транспортирования углеводородного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сейсмичность при горных работах. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 325 с.
2. Мельников Н.Н., Калашник А.И. Геодинамические риски освоения нефтегазовых месторождений Баренц-региона и трубопроводного транспортирования углеводородного сырья // МурманшельфИнфо. 2008. № 4. С. 13-17.
3. Дмитриевский А.Н., Кульпин Л.Г., Максимов В.М. Проблемы освоения природно-техногенных объектов морской добычи углеводородов в Арктике // Там же. 2009. № 1. С. 11-16.
4. Elevating the desks at Ekofisk field // Offshore. 1987. Vol. 47, № 10. P. 21-23.

5. *Адушкин В.В., Турунтаев С.Б.* Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК, 2005. 252 с.
6. *Кашиников Ю.А., Ашихмин С.Г.* Механика горных пород при разработке месторождений углеводородного сырья. М.: Недра, 2007. 467 с.
7. *Касьянова Н.А.* Экологические риски и геодинамика. М.: Научный мир, 2003. 332 с.
8. *Мельников Н.Н., Козырев А.А., Савченко С.Н., Панин В.И., Мальцев В.А.* Прогноз и профилактика горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений с позиций нелинейной геодинамики // ФТПРПИ. 2001. № 4. С. 17-29.
9. *Летников Ф.А.* Синергетика геологических систем // Планета Земля: Энцикл. справ. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. Том «Тектоника и геодинамика». С. 134-139.
10. *Мирзаджанзаде А.Х., Ахметов И.М., Ковалев А.Г.* Физика нефтяного и газового пласта. Москва; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед. 2005. 280 с.
11. Декларация о намерениях инвестирования в комплексное освоение Штокмановского газоконденсатного месторождения (Мурманская область) СПб.: Гипроспецгаз, 2006. 208 с.
12. Декларация о намерениях инвестирования в строительство Мурманской трубопроводной системы (МТС). М.: ООО «Старстрой», 2003.
13. *Панасенко Г.Д.* Сейсмичность восточной части Балтийского щита // Сейсмичность и современные движения земной коры восточной части Балтийского щита, Апатиты, 1980. С. 7-23.