

УДК 622.276.002.8

Севастьянов О.М., Захарова Е.Е.

ООО «ВолгоУралНИПИГаз», Оренбург, Россия, gidrogeolog@vunipigaz.ru

ПОДЗЕМНОЕ ЗАХОРОНЕНИЕ ЖИДКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

Рассмотрены особенности подземного захоронения производственных отходов нефтегазовой отрасли. Для нефтегазоносных провинций и областей России с выявленными углеводородными месторождениями выполнен геологический прогноз перспективных поглощающих горизонтов в отложениях широкого стратиграфического диапазона от докембрия до неогена.

Ключевые слова: *поглощающие горизонты, глубина, литология, коллекторские свойства, пластовые воды, параметры закачки, нефтегазовая отрасль, производственные отходы.*

Метод обезвреживания воздействия на окружающую среду высокотоксичных производственных сточных вод (промстоков) различных отраслей промышленности зародился из опыта разработки нефтяных месторождений. В 1930-е гг. возникла и быстро прогрессировала технология заводнения нефтеносных пластов для поддержания пластового давления (ППД) в целях повышения нефтеотдачи. Для этого использовались легкодоступные поверхностные воды. По мере роста добычи нефти возрастали объемы попутно добываемых пластовых (подтоварных) вод. Из-за ущерба окружающей среде их стало невозможно сбрасывать в открытые водоемы. Это обусловило широкое использование подтоварных вод нефтепромыслов в системах ППД. В 1950-1960-е гг. некоторые отрасли промышленности стали перенимать опыт нефтяников для подземного захоронения промстоков с целью защиты окружающей среды. Это относится и к газовой промышленности, выделившейся в это время в самостоятельную отрасль.

В отличие от нефтяных залежей, газовые и газоконденсатные залежи разрабатываются «на истощение», т.е. без поддержания пластового давления. Вода является главным врагом разработки газовой залежи. Поступление в газовую залежь подошвенной или законтурной пластовой воды в ходе разработки крайне негативно сказывается на газоотдаче коллекторов из-за снижения фазовой газопроницаемости продуктивных пластов, блокирования водой целиков газа, затруднения или даже полного прекращения притока газа к эксплуатационным скважинам. Поэтому специальное заводнение газовых залежей закачкой воды или промстоков совершенно недопустимо и не практикуется. Неподдающиеся очистке промстоки газовой промышленности обезвреживаются методом подземного захоронения в глубокозалегающие поглощающие горизонты. Хотя промстоки нефтедобывающих

предприятий в основном используются в системах ППД, в некоторых промысловых ситуациях возникает избыток воды для ППД, и тогда часть промстоков приходится захоронять в поглощающие горизонты.

К поглощающим горизонтам предъявляются следующие геолого-гидрогеологические и технико-экономические требования: 1) они не должны содержать пресных вод питьевого качества; 2) они должны быть насыщены солеными и рассольными водами, не эксплуатирующимися для лечебных целей, для технического водоснабжения, для извлечения ценных компонентов на расстоянии ближе расчетного радиуса растекания закачиваемых промстоков за весь период эксплуатации системы захоронения; 3) фильтрационно-емкостные свойства пластов-коллекторов должны обеспечивать прием запланированных объемов промстоков; 4) поглощающие горизонты должны быть гидродинамически надежно изолированы выдержанными, регионально протяженными покрывками от вышележащих горизонтов с пресными водами; 5) поглощающие горизонты должны залегать на приемлемых в технико-экономическом отношении глубинах, которые, согласно отечественной и мировой практике подземного захоронения промстоков не только нефтегазовой, но и других отраслей промышленности, составляют в большинстве случаев от 600-700 до 2500-3000 м.

В отношении литологического состава пластов-коллекторов наиболее перспективны поглощающие горизонты в карбонатных (известняках, доломитах) и терригенных (песчаниках) породах. При прочих равных условиях известнякам следует отдавать предпочтение из-за сравнительной простоты повышения их коллекторских свойств с помощью солянокислотных обработок (СКО), возможности применения открытого забоя в скважинах, отсутствия таких осложнений при эксплуатации, как пескование. В редких случаях могут использоваться поглощающие горизонты в сульфатных трещинно-каверновых коллекторах (гипсах, ангидритах), трещинно-поровых и порово-трещинных коллекторах магматических и метаморфических пород.

Региональные водоупорные покрывки (экраны) должны обеспечивать надежность изоляции развитых под ними поглощающих горизонтов в условиях повышающегося от закачки промстоков пластового давления. В литологическом отношении наилучшими покрывками являются мощные толщи глин и каменной соли. Этим породам должно отдаваться предпочтение в качестве покрывок при выборе развитых под ними поглощающих горизонтов. Менее надежны покрывки, сложенные ангидритами,

аргиллитами, плотными известняками и доломитами, магматическими и метаморфическими породами.

Подземное захоронение промстоков является наиболее рациональным и радикальным, хотя и дорогостоящим методом их обезвреживания. Однако, помимо экономического фактора, возможности применения подземного захоронения ограничены и другими более значимыми объективными факторами. Прежде всего, для его применения необходимы соответствующие геолого-гидрогеологические условия, отсутствующие в ряде регионов. В районах же с благоприятными условиями расходы закачки промстоков регламентируются приемистостью пластов-коллекторов. И, наконец, закачка промстоков нарушает природное гидродинамическое равновесие в недрах, повышая пластовое давление в поглощающих горизонтах. Поэтому объемы захоронения определяются предельно возможным повышением пластового давления, при котором сохраняется герметичность покрышек. Перечисленные факторы делают невозможным применение подземного захоронения как в отдельных регионах, так и в некоторых отраслях хозяйства. В этом отношении нефтегазовая отрасль имеет преимущества перед другими отраслями, что обусловлено особенностями подземного захоронения промстоков ее предприятий [Севастьянов, Захарова, 2004].

Существенным преимуществом подземного захоронения промстоков нефтегазовой отрасли по сравнению с другими отраслями хозяйства является высокая степень геологической изученности районов нефтяных и газовых месторождений, причем на большую глубину. Нефтегазоносные регионы имеют благоприятные условия для подземного захоронения промстоков, что предопределено чередованием в геологическом разрезе пластов проницаемых (коллекторов) и практически непроницаемых (экранов, флюидоупоров). Из числа проницаемых пластов конкретного геологического разреза можно выбрать рабочий поглощающий горизонт, в который будут закачиваться промстоки, а также один или несколько резервных поглощающих горизонтов, которые в случае необходимости могут быть задействованы в качестве рабочих поглощающих горизонтов. При достаточно мощном рабочем поглощающем горизонте можно обойтись и без резервных поглощающих горизонтов.

Очень важным преимуществом является также наличие на месторождениях углеводородов готовых скважин, оставшихся после разведки, которые можно использовать в качестве нагнетательных и наблюдательных. Для этих же целей нередко используются вышедшие из строя эксплуатационные нефтяные и газовые скважины, а также глубокие пьезометрические скважины. В отличие от других отраслей хозяйства, нефтегазовая отрасль

располагает буровой и иной специализированной техникой, оборудованием и реагентами для строительства и эксплуатации глубоких скважин и, что не менее важно, квалифицированными специалистами, для которых земные недра являются объектом профессиональной деятельности.

Одной из особенностей захоронения промстоков нефтегазовой отрасли является сравнительно небольшой их объем. Образующиеся на предприятиях отрасли промстоки можно классифицировать следующим образом по количеству: 1) малое – до 50 м³/сут. (до 15-20 тыс. м³/год); 2) среднее – 50-300 м³/сут. (от 15-20 до 100 тыс. м³/год); 3) значительное – 300-1000 м³/сут. (100-365 тыс. м³/год); 4) большое – 1000-4000 м³/сут. (365-1500 тыс. м³/год); 5) очень большое – 4000-10000 м³/сут. (от 1,5 до 3,5-4,0 млн. м³/год).

Для отдельных предприятий характерны в основном малые и средние, редко значительные количества захороняемых производственных отходов. Крупные нефтегазовые комплексы характеризуются большим и очень большим суммарным количеством производственных отходов, которое складывается из тех же малых, средних и редко значительных объемов производственных отходов множества предприятий, рассредоточенных далеко друг от друга. Производственные отходы каждого из этих предприятий захороняются в непосредственной близости от него, что исключает гидродинамическое взаимодействие между ними.

Добыча углеводородов, особенно если она ведется без поддержания пластового давления, что присуще не только газовым и газоконденсатным, но нередко и нефтяным залежам, сопровождается снижением пластового давления в недрах. Оно происходит как в самой залежи, так и за ее пределами, охватывая пласты, насыщенные водой. В результате в водонапорной системе, подстилающей и оконтуривающей залежи, формируется депрессионная воронка, являющаяся областью аномально низкого пластового давления, которое к тому же постоянно снижается в процессе разработки. Использование зоны депрессионной воронки в водонапорной системе разрабатываемого месторождения для подземного захоронения производственных отходов позволяет закачивать значительные объемы производственных отходов без опасения роста пластового давления. Это экологически благоприятный фактор.

На некоторых многопластовых газонефтяных месторождениях, разрабатываемых длительное время, подземное захоронение производственных отходов осуществляется в выработанную, чаще всего, газовую залежь. Такая залежь может располагаться выше других разрабатываемых залежей, от которых она надежно изолирована.

Подземное захоронение производственных отходов в область аномально низкого пластового давления, образовавшуюся в результате разработки углеводородных залежей, т.е. имеющую техногенное происхождение, является еще одной особенностью и преимуществом нефтегазовой отрасли по сравнению с другими отраслями народного хозяйства.

Вместе с тем в нашей стране есть области и целые регионы, где определенные интервалы геологического разреза (преимущественно водонасыщенные, а местами содержащие залежи нефти и газа) характеризуются природным аномально низким пластовым давлением (АНПД). В этом случае мы имеем дело с весьма благоприятными геолого-гидрогеологическими условиями, позволяющими использовать природные зоны АНПД для подземного захоронения больших объемов производственных отходов без опасения роста пластового давления [Севастьянов, 2006]. Одним из таких регионов является Ставропольская газоносная область. Вторым, более обширным, – значительная часть Сибирской платформы, относящаяся согласно нефтегазогеологическому районированию к Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции, а в административном отношении представляющая юго-запад Якутии, Иркутскую область и Эвенкийский автономный округ.

Современные знания глубинного геологического строения нашей страны, полученные в процессе поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа, а также опыт создания и многолетней эксплуатации полигонов подземного захоронения производственных отходов не только нефтегазовой, но и других отраслей промышленности, позволяют без предварительных поисково-разведочных работ строить нагнетательные скважины и производить закачку производственных отходов в регионально выдержанные, мощные и достаточно апробированные поглощающие горизонты. Распространение этих горизонтов приведено на рис. 1.

Значительная часть территории России представляет собой нефтегазоносные провинции (НГП) и перспективные в нефтегазоносном отношении регионы. Рассмотрим геолого-гидрогеологические условия подземного захоронения производственных отходов нефтегазовой отрасли России в соответствии с ее нефтегазогеологическим районированием. В наиболее общем плане выделяются: 1) провинции древних платформ: Восточно-Европейской (Русской) и Сибирской; 2) провинции молодых платформ: Предкавказско-Крымской (Скифской) и Западно-Сибирской; 3) провинции складчатых и переходных территорий: Дальневосточные.

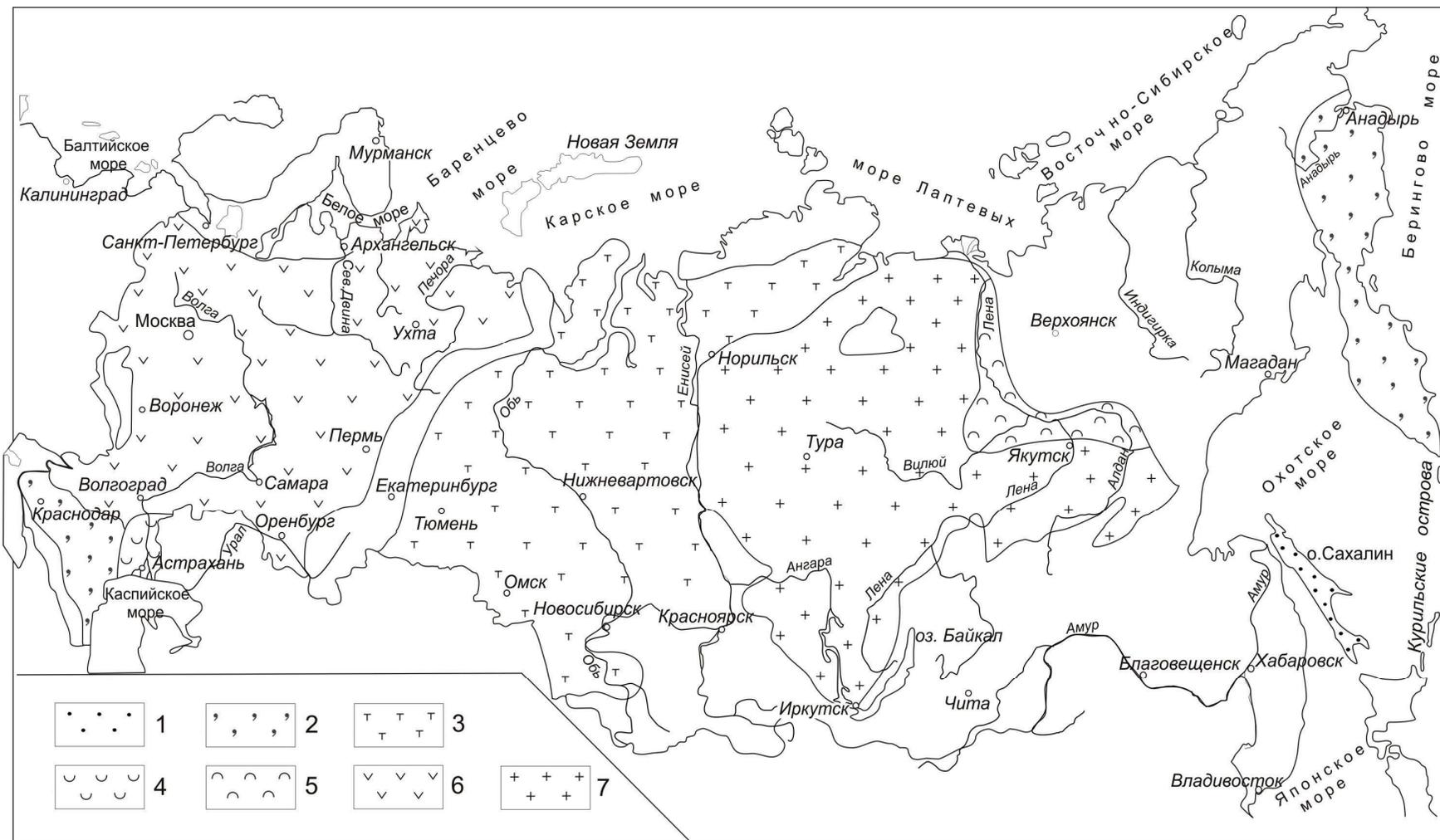


Рис. 1. Распространение поглощающих горизонтов, перспективных для подземного захоронения жидких производственных отходов нефтегазовой отрасли России

1-7 – территории, на которых для подземного захоронения производственных отходов нефтегазовой отрасли перспективны поглощающие горизонты следующих стратиграфических подразделений: 1 – неоген; 2 – неоген, палеоген; 3 – апт-альб-сеноман; 4 – альб-сеноман, неоком, юра; 5 – юра, нижний триас, верхняя пермь; 6 – нижняя пермь, карбон, девон; 7 – нижний кембрий, венд.

В пределах Восточно-Европейской платформы в России целиком или частично находятся Волго-Уральская, Тимано-Печорская, Прикаспийская, Прибалтийская НГП и прилегающие к ним перспективные в нефтегазоносном отношении территории.

В **Волго-Уральской НГП** для подземного захоронения наиболее перспективны поглощающие горизонты нижнепермских, каменноугольных и девонских отложений [Севастьянов, Захарова, 2007б]. Они апробированы длительной практикой эксплуатации нагнетательных скважин на многочисленных объектах нефтяной и газовой промышленности. Поглощающие горизонты приурочены к карбонатным и терригенным коллекторам, содержат непригодные для хозяйственного использования рассолы и надежно изолированы от верхних водоносных горизонтов с пресной питьевой водой многочисленными пластами глин, а на юге провинции также мощной толщей каменной соли кунгурского яруса нижней перми. Помимо вышеперечисленных возможно использование и других поглощающих горизонтов, а также полностью или частично выработанных залежей углеводородов.

Примером этого является многопластовое Покровское газонефтяное месторождение в Оренбургской области, где избыток подтоварной воды закачивается в самую верхнюю газовую залежь уфимского яруса верхней перми, продуктивный пласт которой, представленный песчаниками со средней проницаемостью около одного квадратного микрометра, залегает на глубине 560-580 м. Пластовое давление в залежи снизилось в процессе разработки с 5,86 до 1,15 МПа, залежь обводнилась пластовой водой с минерализацией 282-317 г/дм³. Обводненный участок залежи, на котором газ практически отобран, используется для захоронения подтоварной воды. Закачка ее с расходом до 2000 м³/сут. ведется в обводнившуюся газовую скважину с 1994 г.

На Южно-Субботинском нефтяном месторождении, расположенном на границе Самарской и Оренбургской областей, для закачки подтоварной воды используются две скважины, бывшие ранее нефтедобывающими. В них перфорированы обсадные колонны выше нефтеносных пластов в интервалах 2220-2230 м (скв. 1905) и 2184-2372 м (скв. 1906) против водонасыщенных серпуховско-башкирских известняков. Пластовая вода имеет плотность 1,15-1,18 г/см³, общую минерализацию 227-282 г/дм³. Известняки имеют пористость 15-25%, проницаемость от сотых и десятых долей до 1,0-2,2 мкм². Закачка подтоварной воды производится с 01.01.2004 г. в одну скважину (вторая находится в резерве) в количестве 400 м³/сут. Пробные закачки показали, что приемистость скважины составляет 626 м³/сут.

На Оренбургском газохимическом комплексе подземное захоронение производственных отходов осуществляется с 1974 г. в наиболее крупном масштабе в системе газовой промышленности страны. В качестве поглощающего служит визейско-башкирский комплекс карбонатных пород. Производственные отходы захороняются под разрабатываемую газоконденсатную залежь на установках подготовки газа и нефти и за контуром месторождения на газоперерабатывающем и гелиевом заводах. Всего в разное время эксплуатировалось более 30 нагнетательных скважин, рассредоточенных поодиночке и группами на значительной площади. Скважины имеют открытый ствол в интервалах от 2040-2300 м до 2433-3042 м, куда и закачиваются производственные отходы. Длина открытых стволов в большинстве скважин составляет 105-375 м, в некоторых достигает 500-646 м, а на Совхозном подземном хранилище газа открытый ствол в скв. 10-р находится в интервале 2500-3502 м, т.е. имеет длину 1002 м. Эффективная мощность коллекторов в открытых стволах скважин 16,2-91,9%. Пористость коллекторов 6-30%, а в среднем ее значения на разных объектах закачки 7,9-16,3%. Проницаемость поглощающих пород, обусловленная в значительной мере их трещиноватостью, находится в пределах 0,113-1,11 мкм². Пластовые воды имеют плотность 1,16-1,18 г/см³, общую минерализацию 240-280 г/дм³. Поглощающая способность пород высокая. Расход закачки производственных отходов в отдельных скважинах достигает 910 м³/сут. Во время строительства подземных емкостей в каменной соли методом размыва водой расход закачки образующегося рассола в скв. Н-9 достигал 2200 м³/сут. В последние годы на Оренбургском газохимическом комплексе захороняется порядка 2,5 млн. м³ производственных отходов в год. Всего за 36 лет функционирования комплекса захоронено более 60 млн. м³ производственных отходов.

Особо благоприятные геолого-гидрогеологические условия подземного захоронения производственных отходов на Оренбургском газохимическом комплексе вызваны постоянным снижением пластового давления в водонапорной системе, подстилающей и оконтуривающей разрабатываемую газоконденсатную залежь, с которой водонапорная система гидродинамически связана. Газоконденсатная залежь активно обводняется пластовой водой, поступающей из водонапорной системы, в которой поэтому снижается пластовое давление. Депрессионная воронка в водонапорной системе распространилась не менее чем на 20 км за пределы контура нефтегазоносности Оренбургского месторождения и на 600 м в глубину ниже газоводяного и водонефтяного контактов. Депрессионная воронка охватила поглощающие горизонты, в которые производится захоронение производственных отходов, на всех объектах захоронения, включая полигоны газоперерабатывающего и

гелиевого заводов. Несмотря на закачку производственных отходов пластовое давление в поглощающих горизонтах продолжает снижаться.

В **Тимано-Печорской НГП** основные поглощающие горизонты для захоронения производственных отходов приурочены к нижнепермским, каменноугольным и девонским отложениям [Севастьянов, Захарова, 2005]. На Ярегском нефтяном месторождении, расположенном на Тиманском кряже и разрабатываемом шахтным способом с подачей в продуктивный пласт водяного пара, образующуюся подтоварную воду закачивают в тот же пласт девонских песчаников за пределами шахтного поля через нагнетательные скважины на глубину порядка 300 м.

На Вуктыльском газоконденсатном месторождении (ГКМ) после безуспешных попыток захоронения производственных отходов в терригенные отложения верхней перми на глубину 2000-2250 м переориентировались на карбонатные породы каменноугольного возраста, развитые ниже газоконденсатной залежи. С этой целью была переоборудована скв. 221, пробуренная в приконтурной зоне месторождения для разведки нефтегазоносности глубоких горизонтов и расположенная в 7 км от головных сооружений, где образуется основной объем подлежащих захоронению производственных отходов (510-580 м³/сут.). В ней произведена перфорация двух обсадных колонн в интервалах 3727-3764 и 3787-3844 м против коллекторов серпуховского яруса, содержащих воду с плотностью 1,18 г/см³ и минерализацией 280 г/дм³. Верхние отверстия перфорации находятся на 290 м ниже газоводяного контакта. Испытания на приемистость закачкой стоков показали, что посредством СКО достигаются высокие расходы при приемлемых устьевых давлениях: 500 м³/сут. при давлении на устье 5,0 МПа. После нескольких СКО была достигнута приемистость, обеспечивающая поглощение всех производственных отходов. В 1990 г. пробурили нагнетательную скв. 13 на головных сооружениях, находящихся за контуром газоносности. Глубина ее 4000 м, скважина обсажена трубами до забоя, эксплуатационная колонна перфорирована в интервалах 3814-3864, 3872-3880, 3883-3893, 3920-3923 м. Закачка производственных отходов в скв. 221 началась в ноябре 1990 г., а осенью 1991 г. стали закачивать производственных отходов в скв. 13. Обе скважины эксплуатируются попеременно до настоящего времени.

На Западно-Соплесском ГКМ для захоронения наиболее перспективна карбонатная толща верхнефаменского подъяруса, развитая над газоконденсатной залежью на глубине 800-1300 м. Породы характеризуются высокой пористостью, трещиноватостью и кавернозностью, значительной мощностью (80-100 м), что обеспечивает возможность

приема больших объемов стоков. Пластовые воды имеют минерализацию 90-150 г/дм³. Покрышка над верхнефаменским поглощающим горизонтом имеет повсеместное распространение и мощность от нескольких десятков метров до 1000 м. Она представлена плотными низкопористыми карбонатами самой верхней части верхнефаменского подъяруса и преимущественно глинистыми отложениями нижнего карбона, нижней и верхней перми. В качестве нагнетательных и наблюдательных скважин можно использовать существующие на месторождении скважины, для чего требуется их переоборудование. Здесь же можно производить захоронение стоков Печоро-Кожвинского, Печорогородского и Югидского месторождений.

В юго-западной части **Прикаспийской НГП**, находящейся в пределах России, для целей подземного захоронения производственных отходов наиболее перспективны юрские и меловые терригенные отложения [Севастьянов, Захарова, 2007б]. Вблизи г. Астрахани на Олейниковском нефтяном месторождении захоронение производственных отходов производится с 1980 г. в нижнеальбский поглощающий горизонт на глубину 960-1000 м. В 1967-1977 гг. в районе г. Волгоград производилась разведка поглощающих горизонтов для захоронения производственных отходов предприятий химической промышленности. На правом берегу р. Волги в Сарпинско-Тингутинской депрессии для закачки стоков были рекомендованы неокомские отложения, залегающие на глубине 1150-1200 м. На левобережье р. Волги, в Волжском прогибе, наиболее перспективными для этой цели признаны среднеюрские (байосский ярус) и альб-сеноманские отложения. В 1985 г. был создан полигон подземного захоронения со скважинами глубиной 1080 м на байосский поглощающий горизонт, а альбский горизонт принят в качестве резервного.

Закачка значительных объемов производственных отходов в поглощающие горизонты надпродуктивных отложений осуществляется на Астраханском газохимическом комплексе. Здесь газонасыщенные карбонатные породы каменноугольного возраста, залегающие на глубине 3800-4000 м, перекрыты соленосными отложениями кунгурского яруса, образующими солянокупольные поднятия и межкупольные мульды. Последние заполнены верхнепермскими, мезозойскими и кайнозойскими отложениями, в разрезе которых чередуются пористые песчаные водонасыщенные пласты и водоупорные глинистые толщи. В одной из мульд проведена разведка поглощающих горизонтов в отложениях триаса, юры, мела, палеогена. Выявлено 3 перспективных поглощающих горизонта: верхнеюрский, неокомский, апт-альбский. Эффективная мощность коллекторов верхней юры 37 м, неокома 60 м, апт-альба 121 м. Верхнеюрские и нижнемеловые отложения обладают близкими

коллекторскими свойствами. Средняя пористость верхнеюрских песчаников и алевролитов по лабораторным исследованиям керна 23,3%, по геофизическим данным 19,5%. Нижнемеловые песчаники и алевролиты по результатам анализа керна имеют среднюю пористость 23,8%, по геофизическим данным 23,0%. Пластовые воды верхнеюрских и нижнемеловых отложений имеют плотность 1,170-1,191 г/см³, общую минерализацию 272,2-304,2 г/дм³. На разведанном участке построен полигон подземного захоронения производственных отходов, состоящий из 7 нагнетательных скважин, в которых эксплуатационные колонны перфорированы в интервале глубин от 1420 до 1580 м против коллекторов верхнеюрского, а в одной скважине - верхнеюрского и нижнемелового (апт-неокомского) поглощающих горизонтов. Полигон функционирует с июля 1987 г. В последние годы на полигоне захороняется 1000-1100 м³/сут. производственных отходов, или около 400 тыс. м³ в год. По состоянию на конец 2005 г. общий объем захороненных на полигоне производственных отходов составил 2753,4 тыс. м³, в том числе в верхнеюрский поглощающий горизонт 2517,1 тыс. м³, в апт-неокомский 236,3 тыс. м³. По расчетам при радиусе распространения производственных отходов в поглощающих горизонтах 1000 м, расходе закачиваемых производственных отходов 2100 м³/сут. в течение 25 лет в поглощающие горизонты можно захоронить (млн. м³): в верхнеюрский – 4,55; в неокомский – 8,32; в апт-альбский – 9,89; итого – 22,76. Это говорит о возможности функционирования данного полигона в течение очень длительного времени и о перспективах увеличения объемов захороняемых на нем производственных отходов.

В северной части Прикаспийской впадины на территории Казахстана, в непосредственной близости от границы с Россией, на Карачаганакском нефтегазоконденсатном месторождении, с которого добываемая продукция поступает на переработку на Оренбургский газохимический комплекс, подземное захоронение производственных отходов производится с 1989 г. в надпродуктивные терригенные поглощающие горизонты верхней перми и триаса на глубину 1670-1870 м. Полигон подземного захоронения производственных отходов создан в центре месторождения в мульде между тремя соляными куполами. По результатам разведочного бурения, всестороннего изучения геологического разреза и гидрогеологического опробования скважин для захоронения производственных отходов выбран рабочий поглощающий горизонт в песчаниках татарского яруса верхней перми в интервале 1803-1870 м и 3 резервных горизонта в песчаниках триаса в интервале глубин 1170-1737 м. Средняя пористость песчаников татарского яруса 20,6%, триаса 25,7-30,9%; проницаемость по керну,

соответственно, $0,04 \text{ мкм}^2$ и $0,43-0,61 \text{ мкм}^2$. По результатам гидродинамических исследований скважин проницаемость песчаников татарского яруса и триаса $0,016-0,077 \text{ мкм}^2$, иногда до $0,16 \text{ мкм}^2$. Пластовые воды имеют плотность $1,160-1,188 \text{ г/см}^3$, общую минерализацию $240-290 \text{ г/д}^3$. В связи с тем, что разрабатываемая залежь не обводняется, объемы захороняемых производственных отходов невелики.

В Российской части **Прибалтийской НГП** добыча нефти осуществляется в Калининградской области. Разрабатываемые нефтяные залежи среднего кембрия подстилаются подошвенной водой, являются массивными водоплавающими. Поскольку разработка месторождений ведется на естественном водонапорном режиме без поддержания пластового давления закачкой воды, вся подтоварная вода обезвреживается путем подземного захоронения в глубокие водоносные (поглощающие) горизонты. Наиболее перспективным для подземного захоронения производственных отходов в Калининградской области является кембрийский поглощающий горизонт [Севастьянов, Захарова, 2007а]. Для него характерны повсеместное распространение, выдержанность коллекторов, высокая приемистость, превышающая $1000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ производственных отходов на скважину. Менее перспективными, но в ряде случаев приемлемыми, являются ордовикский, девонский и пермский поглощающие горизонты. Девонский поглощающий горизонт по своей перспективности для подземного захоронения производственных отходов занимает второе место после кембрийского. Приемистость нагнетательных скважин на девонский поглощающий горизонт составляет от сотен до $1000 \text{ м}^3/\text{сут.}$ производственных отходов. Скважины на ордовикский и пермский поглощающие горизонты обладают приемистостью в десятки, реже первые сотни метров кубических производственных отходов в сутки, а сами эти горизонты характеризуются неповсеместным распространением.

За пределами нефтегазоносных провинций Русской платформы значительная часть территории имеет благоприятные условия для подземного захоронения производственных отходов. Так, в Ленинградской области в пределах южного склона Балтийского щита, где докембрийские отложения погружаются на глубину до 600 м , в терригенных пластах гдовского горизонта верхнего венда много лет назад были созданы подземные хранилища газа: Гатчинское на глубине около 400 м и Колпинское на глубине $275-300 \text{ м}$. Пласты песчаников, в которых хранится газ, имеют мощность $5-10 \text{ м}$, пористость $15-27\%$, проницаемость $2-4 \text{ мкм}^2$. В эти пласты может осуществляться и подземное захоронение производственных отходов. Они выдержаны по площади, обладают высокими коллекторскими свойствами, насыщены непригодной для питья высокоминерализованной

водой, надежно изолированы от земной поверхности несколькими глинистыми экранами [Севастьянов, Захарова, 2007а].

Положительный опыт подземного захоронения производственных отходов в песчаники верхнего протерозоя имеется в соседней Белоруссии. На предприятии «Белорускалий» (г. Солигорск) с 1986 г. производится подземное захоронение рассолов, образующихся в процессе добычи калийных солей, в песчаники пинской свиты со средней пористостью 30% и проницаемостью 1 мкм². Закачка рассолов ведется в интервал 1720-2100 м с расходом 1000 м³/сут. на скважину при устьевых давлениях 2,0-3,0 МПа.

Далее к югу, в пределах Московской синеклизы и прилегающих к ней территорий, наиболее перспективными для подземного захоронения производственных отходов являются поглощающие горизонты девона и карбона. Это доказано многолетней эксплуатацией полигонов подземного захоронения производственных отходов химической промышленности.

В г. Тамбов на предприятии «Пигмент» с 1968 г. захороняются производственные отходы анилино-красочной промышленности в песчаники среднего девона (старооскольский горизонт), залегающие на глубине 715-735 м (нижний рабочий горизонт) и 690-710 м (верхний рабочий горизонт). На полигоне пробурено 9 нагнетательных скважин; закачка производственных отходов ведется попеременно в 2-3 скважины с общим расходом 2,5-3,0 тыс. м³/сут.

Производственные отходы предприятия «Оргстекло» (г. Дзержинск Нижегородской области) захороняются с 1976 г. в живетско-пашийский поглощающий горизонт среднего и верхнего девона, залегающий на глубине 1090-1260 м, сложенный песчаниками с прослоями алевролитов и глин. На полигоне, состоящем из 3 нагнетательных скважин, ежедневно закачивается 500 м³ жидких отходов производства сельскохозяйственных ядохимикатов.

На Новомосковском предприятии «Оргсинтез» (Тульская область) в 1975-1976 гг. были пробурены и испытаны нагнетательные скважины для закачки производственных отходов в песчаники и алевролиты живетского яруса среднего девона в интервале глубин 718-770 м. После многолетних исследований и опытных закачек в 1986 г. началось промышленное захоронение производственных отходов с расходом до 2500 м³/сут.

На Заволжском химическом заводе в Ивановской области нагнетательные скважины были пробурены в 1972-1978 гг. Под закачку производственных отходов выбрана окско-серпуховская известняково-доломитовая трещиновато-кавернозная толща нижнего карбона, вскрытая в скважинах открытым стволом в интервале глубин от 902-935 до 1021-1031 м.

На Кирово-Чепецком химическом комбинате с 1987 г. производится подземное захоронение производственных отходов в окско-серпуховский поглощающий горизонт, представленный доломитами с прослоями известняков, залегающий в интервале глубин 1257-1438 м. На полигоне построено 6 нагнетательных скважин, эксплуатирующихся попеременно. Общий объем захороняемых на полигоне производственных отходов 2000 м³/сут.

Научно-исследовательский институт атомных реакторов (НИИАР) в г. Димитровград Ульяновской области захороняет радиоактивные производственные отходы в яснополянский и окско-башкирский поглощающие горизонты каменноугольного возраста. Первый залегают на глубине 1410-1467 м и сложен песчаниками и алевролитами, второй на глубине 1138-1194 м представлен трещиноватыми и кавернозными известняками и доломитами. Закачка производственных отходов в 1966-1973 гг. производилась в яснополянский горизонт с расходом 244-340 м³/сут. С 1973 г. производственные отходы захороняются в окско-башкирский горизонт с расходом 320-960 м³/сут.

Юг Европейской части России (Северный Кавказ) относится к молодой Предкавказско-Крымской (Скифской) платформе. Согласно нефтегазогеологическому районированию эта территория является восточной частью **Причерноморско-Крымской НГП**. В административном отношении здесь располагаются Краснодарский и Ставропольский края, Чеченская республика, республики Ингушетия, Дагестан, Калмыкия. Это один из старейших регионов нефтегазодобычи нашей страны. Наиболее перспективными для целей подземного захоронения являются здесь горизонты терригенных отложений неогена и палеогена, по использованию которых имеется положительный опыт [Севастьянов, Захарова, 2007б].

На Троицком йодном заводе (в 65 км западнее г. Краснодара) с 1968 г. захороняются отработанные промышленные воды после извлечения из них полезных компонентов. Закачка ведется в третий горизонт понтических отложений и в седьмой и восьмой горизонты мэотиса, сложенные песчаниками и алевролитами. Глубина нагнетательных скважин от 1700 м (на третий понтический горизонт) до 2275 м (на восьмой горизонт мэотиса). Всего пробурено порядка 20 скважин, в которые закачивается около 7000 м³/сут. отработанных вод.

На Прибрежном ГКМ в 115 км северо-западнее г. Краснодара с 1995 г. попутные пластовые воды, добываемые вместе с газом, захороняются в песчано-алевролитовый понтический горизонт на глубину 1500-1600 м. Объем закачки 200 м³/сут.

В г. Ставрополе стоки химического предприятия «Люминофор» с 1994 г. захороняются в песчаную толщу свиты «Горячий Ключ» (палеоцен) в интервал 1483-1573 м с расходом 1800 м³/сут. Для захоронения стоков на Ставропольском плато имеются особо благоприятные условия из-за природного аномально низкого пластового давления в палеоцен-эоценовом водоносном комплексе. В связи с этим стоки принимаются поглощающим горизонтом при свободном наливе в скважины либо при невысоких устьевых давлениях закачки.

Западно-Сибирская платформа представляет собой огромную одноименную нефтегазоносную провинцию, характеризующуюся исключительно благоприятными геолого-гидрогеологическими условиями для подземного захоронения производственных отходов, которые заключаются в следующем. В пределах провинции повсеместным распространением пользуются регионально выдержанные поглощающие горизонты водонасыщенных песчаников и алевролитов сеноманского яруса верхнего мела, альбского и аптского ярусов нижнего мела. Покрышкой служат глины верхнего мела и палеогена. На севере провинции в самой верхней части разреза до глубины 400-500 м развиты многолетнемерзлые породы, обеспечивающие дополнительную надежную изоляцию поглощающих горизонтов.

На месторождениях севера Западно-Сибирской НГП подземное захоронение производственных отходов осуществляется внутри контура газоносности под разрабатываемую массивную водоплавающую сеноманскую газовую залежь на глубину 990-1600 м (чаще 1100-1400 м). Высокие коллекторские свойства песчаных пород (пористость 25-30%, проницаемость не менее 0,5 мкм²) обеспечивают высокую приемистость скважин, составляющую при опытных нагнетаниях 600-2400 м³/сут. технической воды при устьевых давлениях 0,2-0,6 МПа. Из-за сравнительно небольшого количества образующихся производственных отходов рабочие расходы закачки не превышают 240 м³/сут. на скважину; рабочие устьевые давления составляют 0,2-0,3 МПа [Севастьянов, Захарова, 2007б].

Дополнительным благоприятным фактором захоронения производственных отходов под сеноманскую газовую залежь является снижение пластового давления в водонапорной системе и подъем газовой контактной поверхности в результате добычи газа. Объемов захороняемых производственных отходов недостаточно для заполнения депрессионной воронки, развивающейся в водонапорной системе, гидродинамически связанной с разрабатываемой газовой залежью.

Среди газовых месторождений Западной Сибири подземное захоронение производственных отходов в наиболее широком масштабе производится на Уренгойском месторождении, где оно началось в 1979 г. Оно ведется на всех установках комплексной подготовки газа, на центральных пунктах сбора нефти, в Управлении по подготовке конденсата к транспорту, в Управлении транспортировки нефтепродуктов и ингибиторов. На каждом из перечисленных объектов имеется по 2-3 нагнетательные скважины, эксплуатирующиеся поочередно. Всего на Уренгойском газовом комплексе имеется 42 нагнетательные скважины для закачки производственных отходов. Общий объем захороненных производственных отходов к настоящему времени составил около 30 млн. м³. Подземное захоронение производственных отходов в альб-сеноманский поглощающий горизонт осуществляется на Ямбургском, Вынгапуровском, Комсомольском, Западно-Таркосалинском, Вынгаяхинском, Етыпуровском, Ямсовейском, Юбилейном и других месторождениях.

На окраинах Западно-Сибирской НГП (в пределах Приуральской и Васюганской нефтегазоносных областей), где залежи углеводородов связаны преимущественно с юрскими отложениями, для захоронения производственных отходов наряду с поглощающими горизонтами сеномана и нижнего мела весьма перспективны водонасыщенные песчаные пласты юрского возраста.

В пределах **Сибирской платформы** выделяются Лено-Тунгусская, Лено-Вилуйская, Енисейско-Хатангская нефтегазоносные провинции. Наибольшую площадь занимает **Лено-Тунгусская НГП**, нефтегазоносность которой связана с терригенно-карбонатными отложениями нижнего кембрия и терригенными породами венда. Здесь находится большое количество разведанных месторождений углеводородов, в том числе крупных и уникальных по величине запасов. На базе таких месторождений планируется строительство газоперерабатывающих и нефтегазоперерабатывающих заводов. Одной из особенностей состава свободных газов месторождений провинции является высокое содержание гелия, измеряемое десятными долями процента, в среднем по наиболее значимым месторождениям 0,28-0,57%. В настоящее время в России основным предприятием по производству гелия является Оренбургский гелиевый завод, работающий на газе Оренбургского месторождения, содержащем 0,056% гелия. Оренбургское месторождение давно уже находится в стадии падающей добычи, поэтому выработка на нем всех видов продукции, в том числе гелия, неуклонно снижается.

Разработка месторождений Лено-Тунгусской НГП с содержанием гелия, на порядок превышающим его содержание в оренбургском газе, тем более требует предварительного извлечения этого ценного компонента, прежде чем использовать добытый газ в качестве энергетического сырья. Полученный гелиевый концентрат требует его складирования (хранения) для последующей отгрузки потребителям. С этой целью на Оренбургском гелиевом заводе функционирует подземное хранилище, состоящее из подземных емкостей, созданных в толще каменной соли, залегающей выше разрабатываемой газоконденсатной залежи. Подземные емкости в каменной соли созданы методом размыва технической водой. В процессе размыва емкостей образуются так называемые строительные рассолы, количество которых в 8-10 раз превышает объем создаваемых емкостей. Рассолы имеют хлоридный натриевый состав, плотность 1,017-1,220 г/см³, общую минерализацию 100-200 г/дм³. Аналогичные по составу рассолы образовывались и при создании методом размыва водой подземной емкости в солях для хранения углеводородного конденсата на Оренбургском газоперерабатывающем заводе. Обезвреживание строительных рассолов производилось путем подземного захоронения через скважины, пробуренные глубже разрабатываемой залежи.

Геологическое строение Лено-Тунгусской НГП характеризуется развитием мощных толщ каменной соли в кембрийских отложениях на всей территории распространения известных в настоящее время месторождений гелийсодержащего газа. Поэтому на всех промышленных объектах будущей выработки гелия и углеводородного конденсата имеются благоприятные геологические условия для создания подземных хранилищ этих продуктов в пластах каменной соли методом размыва технической водой. Обезвреживание образующихся строительных рассолов может осуществляться путем подземного захоронения в поглощающие горизонты терригенно-карбонатных отложений нижнего кембрия и терригенных пород венда. Важной особенностью этих отложений является аномально низкое пластовое давление [Севастьянов, 2006; Севастьянов, 2010]. На месторождениях углеводородов Лено-Тунгусской НГП коэффициент аномальности пластового давления составляет 0,72-0,86. Это обеспечивает особо благоприятные условия для подземного захоронения производственных отходов, поскольку позволяет захоронять большие объемы жидкости без опасения значительного роста пластового давления, а также дает возможность закачивать строительные рассолы с минимальными энергетическими затратами вплоть до свободного налива в скважины без использования насосного оборудования.

Поглощающие горизонты в отложениях нижнего кембрия и венда имеют региональное распространение и могут использоваться для захоронения не только строительных рассолов, но и вообще всех видов производственных отходов нефтегазовой отрасли, включая попутные пластовые (подтоварные) воды нефтегазодобывающих предприятий и производственные отходы заводов по переработке нефти, газа и конденсата. При этом попутные пластовые воды можно захоронять не только под разрабатываемые углеводородные залежи, но и над ними в пласты-коллекторы, залегающие между пластами каменной соли. Перспективные поглощающие горизонты прогнозируются на глубинах от 800-1000 до 1900-3100 м, что является вполне приемлемым в техническом и экономическом отношении.

Лено-Вилуйская НГП расположена на востоке Сибирской платформы, в пределах Вилуйской синеклизы и Предверхоаянского прогиба. Здесь известны преимущественно газоконденсатные месторождения, приуроченные к трем продуктивным комплексам: юрскому, нижнетриасовому, верхнепермскому. Геологический разрез представлен терригенными породами. Газоконденсатные залежи связаны с пластами песчаников и алевролитов, залегают на глубинах от 1430-1460 до 2900-3800 м. Месторождения многопластовые. Для подземного захоронения производственных отходов наиболее перспективны пласты песчаников и алевролитов нижнего триаса. Они имеют значительную мощность (60-120 м), среднюю пористость 16-21%, проницаемость 0,15-0,20 мкм². На втором месте по перспективности находятся юрские поглощающие горизонты, на третьем, из-за значительной глубины залегания, верхнепермские.

Енисейско-Хатангская НГП находится на севере Сибирской платформы. Промышленное значение в данной провинции имеют газовые и газоконденсатные месторождения. Продуктивными комплексами являются терригенные отложения верхнего и нижнего мела, верхней юры. Основные запасы углеводородов связаны с нижнемеловыми отложениями на глубинах 2200-2600 м. Водонасыщенные пласты песчаников и алевролитов нижнего мела наиболее перспективны для подземного захоронения производственных отходов. Их средняя пористость 20-25%, проницаемость 0,4-0,8 мкм². Довольно перспективны для этой цели верхнемеловые песчано-алевролитовые породы, залегающие на сравнительно небольших глубинах (800-900 м) под толщей многолетнемерзлых пород. Средние значения их пористости 18-22%, проницаемости 0,3-0,5 мкм². Наименее перспективны для целей подземного захоронения производственных отходов верхнеюрские отложения из-за большой глубины их залегания (порядка 3000 м).

Дальневосточный регион является наименее изученной в нефтегазогеологическом отношении частью России. Исключение представляет **газоносная область острова Сахалин**, где добыча нефти производится с начала XX века. Сейчас на Сахалине известно большое количество нефтяных и газовых месторождений, многие из которых разрабатываются. Нефтегазоносность связана с терригенными отложениями неогена. Они же содержат водонасыщенные поглощающие горизонты, перспективные для подземного захоронения производственных отходов. Глубина залегания этих горизонтов, как правило, не более 1500-2000 м. Пласты песчаников и алевролитов обладают пористостью 15-20%, проницаемостью 0,1-1,5 мкм². Расходы закачки производственных отходов могут превышать 1000 м³/сут. на скважину.

Анадырский нефтегазоносный бассейн расположен на востоке Чукотского автономного округа. В настоящее время здесь известно четыре промышленных месторождения углеводородов: два нефтяных, одно нефтегазоконденсатное и одно газовое – Западно-Озерное, находящееся в разработке, газом которого снабжается административный центр округа г. Анадырь. Нефтегазоносность бассейна связана преимущественно с терригенными породами неогена (миоцен) и в меньшей степени с карбонатными и терригенными отложениями палеогена (олигоцен, эоцен). К этим же отложениям приурочены водонасыщенные поглощающие горизонты, перспективные для подземного захоронения производственных отходов.

В **Камчатской нефтегазоносной области** в настоящее время открыто несколько небольших газоконденсатных месторождений, из которых одно (Кшукское) несколько лет разрабатывается для местных нужд, а в 2010 г. газ с него был подан в г. Петропавловск-Камчатский. Еще одно месторождение (Нижне-Квакчикское) подготовлено к разработке. На Кшукском ГКМ продуктивны терригенные отложения неогена в интервале глубин 1144-2323 м. Их средняя пористость 18-23%, проницаемость 0,14-0,28 мкм². На Нижне-Квакчикском ГКМ продуктивны отложения палеогена (эоцен) в интервале глубин 2351-2447 м. Их средняя пористость 14-18%, проницаемость 0,10-0,15 мкм². При испытании скважин Кшукского ГКМ получили притоки газа с пластовой водой. На Нижне-Квакчикском ГКМ отмечена высокая насыщенность газа конденсационной водой. Кшукское и Нижне-Квакчикское месторождения расположены недалеко друг от друга и будут представлять единый комплекс по сбору и подготовке газа к транспорту. На этом комплексе ожидается получение значительного объема попутной пластовой и конденсационной воды, обезвреживать которую следует методом подземного захоронения. Для этой цели наиболее

перспективны водонасыщенные пласты песчаников и алевролитов неогена на глубинах 1200-1500 м. Палеогеновые поглощающие горизонты менее перспективны из-за большей глубины залегания.

Литература

Севастьянов О.М., Захарова Е.Е. Обеспечение экологической безопасности освоения газоконденсатных месторождений методом подземного захоронения неподдающихся очистке жидких производственных отходов // Стратегия развития и освоения сырьевой базы основных энергоносителей в России. - Сб. тез. докл. науч.-практ. Междун. Конф. (26.04.-01.05.2004, ВНИГРИ, Санкт-Петербург). – СПб.: ВНИГРИ, 2004. – С. 90-92.

Севастьянов О.М., Захарова Е.Е. Подземное захоронение промстоков на газовых месторождениях Республики Коми // Комплексное изучение и освоение запасов и ресурсов углеводородного сырья северо-западного региона. - Сб. докл. науч.-практ. конф. (1-3.12.2004, ВНИГРИ, Санкт-Петербург). – СПб.: Недра, 2005. – С. 157-168.

Севастьянов О.М. Геолого-гидрогеологические предпосылки подземного захоронения промстоков на месторождениях нефти и газа юга Сибирской платформы // Геологические проблемы развития углеводородной сырьевой базы Дальнего Востока и Сибири. - Сб. матер. науч.-практ. конф. – СПб.: Недра, 2006. – С. 292-297.

Севастьянов О.М., Захарова Е.Е. Перспективы подземного захоронения промстоков нефтегазовой промышленности в Российской Прибалтике // Проблемы изучения и освоения сырьевой базы нефти и газа Северо-Западного региона. - Сб. матер. Междун. науч.-практ. конф. (июль 2007 г., ВНИГРИ, Санкт-Петербург). – СПб.: ВНИГРИ, 2007а. – С. 172-180.

Севастьянов О.М., Захарова Е.Е. Геолого-гидрогеологические условия подземного захоронения промстоков нефтяной и газовой промышленности России // Актуальные проблемы нефтегазовой геологии. - Сб. матер. Междун. науч.-практ. конф., посвященной памяти чл.-корр. РАН М.Д. Белонина (3-5 октября 2007 г., ВНИГРИ, Санкт-Петербург). – СПб.: ВНИГРИ, 2007б. – С. 380-388.

Севастьянов О.М. Геологический прогноз и перспективы подземного захоронения промстоков предприятий нефтегазовой отрасли Восточной Сибири и Дальнего Востока // Нефтегазогеологический прогноз и перспективы развития нефтегазового комплекса Востока России. - Сб. матер. науч.-практ. конф. (22-26 ноября 2010 г., ВНИГРИ, Санкт-Петербург). – СПб.: ВНИГРИ, 2010. – С. 416-420.

Sevast'yanov O.M., Zakharova E.E.

VolgoUralNIPIgaz, Orenburg, Russia, gidrogeolog@vunipigaz.ru

SUBSURFACE DISPOSAL OF LIQUID INDUSTRIAL WASTES OF THE OIL AND GAS INDUSTRY OF RUSSIA

Peculiarities of the subsurface disposal of industrial wastes of the oil and gas industry are considered. Geological forecast of prospective lost circulation horizons in deposits of a wide stratigraphical range from the Precambrian to the Neogene is performed for petroleum bearing provinces and regions of Russia, where hydrocarbon fields are discovered.

Key words: *lost circulation horizons, depth, lithology, reservoir characteristics, formation water, injection parameters, oil and gas industry, industrial wastes.*

References

Sevast'yanov O.M., Zakharova E.E. *Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti osvoeniya gazokondensatnykh mestorozhdeniy metodom podzemnogo zakhroneniya nepoddayushchikhsya ochistke zhidkikh proizvodstvennykh otkhodov* [Ensuring environmental safety of developing gas-condensate fields using method of the subsurface disposal of liquid industrial cleanup-intractable waste]. Abstracts of Scientific International Conference “*Strategiya razvitiya i osvoeniya syr'evoy bazy osnovnykh energonositeley v Rossii*” [Development strategy of major energy resource base in Russia]. Saint Petersburg: VNIGRI, 2004, pp. 90-92.

Sevast'yanov O.M., Zakharova E.E. *Podzemnoe zakhronenie promstokov na gazovykh mestorozhdeniyakh Respubliki Komi* [Subsurface disposal of industrial waste from gas fields in the Komi Republic]. Proceedings of Scientific Conference “*Kompleksnoe izuchenie i osvoenie zapasov i resursov uglevodorodnogo syr'ya severo-zapadnogo regiona*” [Comprehensive study and development of hydrocarbon reserves and resources of the North-Western region]. Saint Petersburg: Nedra, 2005, pp. 157-168.

Sevast'yanov O.M. *Geologo-gidrogeologicheskie predposylki podzemnogo zakhroneniya promstokov na mestorozhdeniyakh nefti i gaza yuga Sibirskoy platformy* [Geological and hydrogeological conditions of subsurface waste disposal from oil and gas fields of southern Siberian platform]. Proceedings of Scientific Conference “*Geologicheskie problemy razvitiya uglevodorodnoy syr'evoy bazy Dal'nego Vostoka i Sibiri*” [Geological problems of hydrocarbon resource base development of the Far East and Siberia]. Saint Petersburg: Nedra, 2006, pp. 292-297.

Sevast'yanov O.M., Zakharova E.E. *Perspektivy podzemnogo zakhroneniya promstokov neftegazovoy promyshlennosti v Rossiyskoy Pribaltike* [Prospects for subsurface disposal of industrial waste of gas industry in the Russian Baltic]. Proceedings of Scientific International Conference “*Problemy izucheniya i osvoeniya syr'evoy bazy nefti i gaza Severo-Zapadnogo regiona*” [Problems of study and development of oil and gas resource base of the North-Western region]. Saint Petersburg: VNIGRI, 2007, pp. 172-180.

Sevast'yanov O.M., Zakharova E.E. *Geologo-gidrogeologicheskie usloviya podzemnogo zakhroneniya promstokov neftyanoy i gazovoy promyshlennosti Rossii* [Geological and hydrogeological conditions of subsurface waste disposal in oil and gas industry of Russia]. Proceedings of Scientific International Conference “*Aktual'nye problemy neftegazovoy geologii*” [Urgent problems of petroleum geology]. Saint Petersburg: VNIGRI, 2007, pp. 380-388.

Sevast'yanov O.M. *Geologicheskii prognoz i perspektivy podzemnogo zakhroneniya promstokov predpriyatiy neftegazovoy otrasli Vostochnoy Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Geological forecast and prospects for subsurface waste disposal of oil and gas enterprises in the Eastern Siberia and the Far East]. Proceedings of Scientific Conference “*Neftegazogeologicheskii prognoz i perspektivy razvitiya neftegazovogo kompleksa Vostoka Rossii*” [Oil-gas-geological forecast and prospects for oil and gas complex development in the Eastern Russia]. Saint Petersburg: VNIGRI, 2010, pp. 416-420.