

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

К.г.-м.н. Е.П. Янин

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
г. Москва
yanin@geokhi.ru

В настоящее время расширение минерально-сырьевой базы страны предъявляет высокие требования не только к экономическим условиям освоения месторождений, но и требует учитывать экологические последствия, проявляющиеся уже в ходе геологоразведочного процесса. Существующая на сегодняшний день система экологического нормирования при геологоразведочных работах требует разработки природоохранных нормативов воздействия на окружающую среду при реализации геологических проектов с учетом различных географо-климатических и горно-геологических условий и устойчивости конкретной территории к техногенному воздействию. Для предотвращения негативного влияния на окружающую среду следует провести инвентаризацию всего фонда геологоразведочных скважин для выявления фактов разгерметизации их устья, проведения ремонтных и ликвидационных работ, для установления необходимости рекультивации буровых амбаров, содержащих нефть и буровые шламы. В любом случае требуются организация и проведение специальных исследовательских и научно-методических работ по выявлению всех наиболее значимых экологических последствий, проявляющихся на различных этапах и стадиях геологоразведки с учетом специфики месторождений и ландшафтных условий их размещения.

Введение

Разведка полезных ископаемых представляет собой сложный научно-исследовательский процесс, основанный на последовательном выполнении работ, требующих значительных вложений на поиск и последующую оценку предполагаемых запасов [36]. Главной целью геологоразведочного процесса, как совокупности взаимосвязанных и применяемых в определенной последовательности производственных работ, является выявление, геолого-экономическая оценка и подготовка к разработке месторождений тех или иных полезных ископаемых. Расширение минерально-сырьевой базы страны в настоящее время предъявляет высокие требования не только к экономическим условиям освоения месторождений, но и требует учитывать эко-

логические и эколого-геохимические последствия, в той или иной степени проявляющиеся в ходе проведения геологоразведочных работ. Необходимо отметить, что экологические (в широком значении) аспекты влияния геологоразведочных работ на окружающую среду практически на все виды полезных ископаемых изучены недостаточно полно. Во многом это обусловлено тем, что основное внимание выполненным к настоящему времени исследований было направлено на установление и изучение экологических и эколого-геохимических последствий главным образом разработки месторождений полезных ископаемых.

В свое время в СССР были введены «Временные требования...» [9], согласно которым изучение и прогнозирование воздействия процессов разведки месторождений полезных ископаемых на окружающую природную среду являются обязательной составной частью геологоразведочных работ. Однако в документе утверждается, что «изучение и прогнозирование воздействия процессов разведки» должны обеспечивать получение исходных данных, необходимых для оценки подготовленности месторождения для комплексного промышленного освоения, а также для разработки рационального комплекса природоохранных мероприятий и определения их стоимости при технико-экономическом обосновании временных и постоянных кондиций для подсчета запасов полезных ископаемых, т. е., по сути, речь в данном случае идет в основном о получении исходной («фоновой») информации о состоянии окружающей среды в районе месторождения до начала его освоения, а не о проведении каких-либо специальных исследований, направленных на оценку влияния собственно геологоразведки на окружающую среду.

По имеющимся данным, в современной России содержимое ее недр только на 20% территории страны отражено государственными геологическими картами масштаба 1:200000, отвечающими современным требованиям, при этом 55% ее территории нуждается в геологическом доизучении, а 25% – в выполнении полного современного комплекса работ по геологическому картированию [22]. К тому же, имеющиеся геологические сведения со временем устаревают, нуждаются в систематическом обновлении с учётом новых научных данных о строении земной коры и размещения полезных ископаемых, а также в связи с появлением инновационных возможностей геологоразведки и добывающих производств. Отсюда следует, что в нашей стране воздействие геологоразведочных работ на окружающую среду потенциально может заметно возрасти. Это и обуславливает необходимость выявления особенностей воздействия на окружающую среду геологоразведочных работ на разных этапах их проведения.

Масштабы геологоразведочных работ

В России (как и в последние годы существования СССР) основную долю геологоразведочных работ составляют работы по разведке нефтегазовых месторождений, причем в 2014 г. отмечался их заметный рост (табл. 1). На втором месте в структуре геологоразведочных работ стабильно находится разведка благородных металлов, на третьем – цветные и редкие металлы.

Основу геологоразведочных работ составляет глубокое разведочное бурение – способ поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, а также региональных исследований на больших глубинах посредством буро-

вых скважин (табл. 2). Отметим, что в свое время Министерством геологии СССР при разведке месторождений, главным образом на стадии детальной разведки, ежегодно выполнялось около 300 тыс. м горизонтальных горно-разведочных выработок [24]. Значительный объём горно-разведочных выработок ежегодно осуществлялся и в других отраслях горнодобывающей промышленности.

Таблица 1

Распределение геологоразведочных работ в РФ по видам полезных ископаемых в разные годы, % [29]

Показатели	1990	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Всего	100	100	100	100	100	100	100	100
из них								
Нефть, газ и конденсат	73,1	63,9	79,0	77,9	74,4	74,0	74,8	88,3
Уголь	3,4	0,6	0,4	0,3	1,0	1,4	0,8	0,5
Цветные и редкие металлы	4,9	2,9	1,6	1,9	2,5	2,5	2,5	2,2
Благородные металлы	7,1	4,7	5,6	7,7	10,3	10,4	9,9	6,7
Черные металлы	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,6	0,4	0,5
Алмазы	1,7	2,5	3,6	1,7	1,9	2,4	2,3	1,1
Неметаллы	2,6	0,6	0,6	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7

Таблица 2

Динамика объемов глубокого разведочного бурения в РФ, тыс. метров [29]

Год	Всего	В том числе на нефть и газ
1990	5299	5286
2000	1722	1719
2005	1085	1079
2010	1177	1169
2011	1252	1235
2012	1289	1258
2013	1248	1222
2014	1281	1267

Все средства разведки полезных ископаемых, обеспечивающие возможность получения информации о залегании тел полезных ископаемых, их размерах, форме, качестве минерального сырья, принято подразделять на три вида: 1) горные разведочные выработки; 2) буровые разведочные скважины; 3) геофизические исследования [1]. Горные выработки дают наиболее разнообразную и достоверную информацию благодаря тому, что в них геолог может непосредственно наблюдать тела полезных ископаемых, вмещающие породы, их взаимоотношения и проводить разнообразные замеры, исследования, отбор материала для многочисленных испытаний. Вместе с тем горные выработки являются наиболее трудоемкими и дорогостоящими

средствами разведки. Буровые скважины значительно дешевле, проведение их требует меньше времени, они могут быть пройдены практически в любых условиях, однако получаемая информация ограничена и, как правило, менее достоверна. Геофизические работы широко применяются в разведочном деле благодаря возможности относительно простыми способами (с точки зрения организации работ, их стоимости, оперативности) получить разнообразные, хотя и весьма приближенные сведения о размерах, условиях залегания и качестве минерального сырья. В сущности, именно указанные средства геологоразведки потенциально способны оказывать основное негативное воздействие на окружающую среду. Особое значение имеет сопутствующая геологоразведке хозяйственная деятельность (транспорт, жилые поселки и т. п.).

Необходимо отметить, что в нашей стране, судя по всему, природоохранные затраты составляют незначительную долю от сметной стоимости геологоразведочных работ. Например, в 1980-е гг. она равнялась 1–4% в зависимости от типа месторождений и района работ, при этом примерно 40% указанных затрат приходилось на рекультивацию нарушенных земель, 35% – на охрану недр, 15% – охрану водных ресурсов и 10% – охрану биоресурсов, атмосферы и прочие расходы [11]. Как справедливо отмечено в [11], существующая на сегодняшний день система экологического нормирования, используемая при оценках влияния геологоразведочных работ, недостаточна и несовершенна и требует разработки специальных природоохранных нормативов воздействия на окружающую среду при реализации геологических проектов с учетом различных географо-климатических и горно-геологических условий и устойчивости конкретной территории к техногенному воздействию.

Геологоразведочные работы на твердые полезные ископаемые

В зависимости от целей процесс геологического изучения недр, согласно «Временному положению о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые)» [8], подразделяется на 3 этапа и 5 стадий:

Этап I. Работы общегеологического назначения.

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр.

Этап II. Поиски и оценка месторождений.

Стадия 2. Поисковые работы.

Стадия 3. Оценка месторождений.

Этап III. Разведка и освоение месторождения.

Стадия 4. Разведка месторождения.

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

Потенциальное воздействие на окружающую среду во многом и определяется содержанием и видами соответствующих работ, выполняемых на том или ином этапе, на той или иной стадии геологоразведки (табл. 3).

Региональное геологическое изучение недр (этап I, стадия 1) осуществляется с целью получения комплексной геологической информации, составляющей фундаментальную основу системного геологического изучения территории страны и прогнозирования полезных ископаемых в недрах. Основными видами работ на данной стадии являются ранжированные по масштабам площадные геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические съемки (полистные, групповые, комплексные, доизучение ранее заснятых площадей, глубинное геологическое картирование), наземные и аэрогео-

физические работы (гравиразведочные, магниторазведочные, электроразведочные, аэрогаммаспектрометрические), а также широкий комплекс специализированных работ: объемное, космофотогеологическое, аэрофотогеологическое, космоструктурное, геолого-минералогическое и геохимическое картирование, тепловые, радиолокационные, многозональные и другие съемки, геолого-экономические, геоэкологические исследования и картографирование, мониторинг геологической среды, прогноз землетрясений, создание государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин, геологическая съемка шельфа, работы в Мировом океане и Антарктике, картосоставительские, картоиздательские и другие работы, их научно-методическое и информационное обеспечение.

Таблица 3

**Источники возможного воздействия на окружающую среду
при проведении геологоразведочных работ на разных этапах и стадиях**

Этапы и стадии работ	Источники возможного воздействия
Этап I	
1. Региональное геологическое изучение недр	Опорные геолого-геофизические профили, параметрические и сверхглубокие скважины, опробование различными методами
Этап II	
2. Поисковые работы	Поверхностные горные выработки, поисковые скважины, глубокое бурение, опробование различными методами, геофизические исследования
3. Оценка месторождений	Поверхностные горные выработки (канавы, шурфы), поисково-картировочные скважины, поисковые скважины, подземные горные выработки, опробование различными методами, опробование различными методами, геофизические исследования
Этап III	
4. Разведка месторождений	Горные выработки (канавы, траншеи, шурфы), мелкие скважины, скважины и подземные выработки, геофизические исследования
5. Эксплуатационная разведка	Специальные разведочные выработки, бурение скважин, шпуров, опробование различными методами, геофизические исследования

Поиски и оценка (этап 2) проводятся с целью прогноза, выявления и предварительной оценки месторождений полезных ископаемых, которые по своим геологическим, экологическим условиям и технико-экономическим показателям пригодны для рентабельного освоения. На стадии 2 «Поисковые работы» осуществляются поиски на новых или недостаточно изученных площадях с целью выявления проявлений полезных ископаемых и определения их перспективности для дальнейшего изучения; на стадии 3 «Оценка месторождений» – оценочные работы на известных или вновь выявленных при поисковых работах проявлениях полезных ископаемых для определения их промышленной ценности. На стадии поисковых работ широко используется комплекс геолого-минералогических, геофизических, геохимических и других методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных месторожде-

ний применяется глубокое бурение в сочетании с скважинными геофизическими и геохимическими исследованиями. Проверка природы геофизических и геохимических аномалий, вскрытие, опробование и изучение проявлений тел полезных ископаемых осуществляется поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. На стадии оценки месторождений проводится геологическая съемка (масштаба 1:25000–1:10000 для крупных и масштаба 1:5000–1:1000 для сложных и небольших месторождений), которая сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. Изучение рудомещающих структурно-вещественных комплексов, вскрытие и прослеживание тел полезных ископаемых осуществляется с поверхности канавами, шурфами, поисково-картировочными скважинами. Изучение на глубину проводится преимущественно буровыми скважинами до горизонтов, обеспечивающих вскрытие рудоносных структурно-вещественных комплексов, а при глубоком их залегании – до горизонтов, экономически целесообразных для разработки с использованием современных технологий освоения месторождений. При высокой степени изменчивости полезной минерализации или при сильно расчлененном рельефе для изучения объекта на глубину возможно применение подземных горных выработок.

Геологоразведочные работы на этапе III. Разведка и освоение месторождения (стадия 4. Разведка месторождения и стадия 5. Эксплуатационная разведка) проводятся с целью детального изучения геологического строения месторождения и получения информации о количестве и качестве запасов, минеральном и химическом составе полезного ископаемого, его технологических свойствах и других особенностях месторождения с полнотой и достоверностью, обеспечивающих промышленную оценку месторождения, обоснование решения о порядке и условиях вовлечения его в промышленное освоение, а также о проектировании строительства или реконструкции на его базе горного предприятия. На стадии «Разведка месторождения», осуществляемой в пределах горного отвода, в зависимости от промышленного типа месторождения и его особенностей проводится геологическая съемка в масштабе 1:10000–1:1000 с применением комплекса геофизических и геохимических методов исследований. Выходы и приповерхностные части тел полезного ископаемого вскрываются и прослеживаются горными выработками (канавы, траншеи, шурфы) и мелкими скважинами. Выходы тел полезных ископаемых опробуются с детальностью, позволяющей выявить формы, строение и условия их залегания, установить интенсивность проявления зоны окисления, вещественный состав и технологические свойства окисленных и смешанных руд. Разведка месторождений на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. В случае отработки месторождения подземным способом расположение разведочных горных выработок должно обеспечивать максимально возможное их использование при эксплуатации. Вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучаются с необходимой детальностью. Выполняются также работы по изучению и оценке запасов полезных ископаемых, залегающих совместно с основными, дается оценка возможных источников хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, производятся работы по выявлению местных строительных материалов. Разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения и природоохранные мероприятия. Эксплуатаци-

онная разведка (стадия б) проводится в течение всего периода освоения месторождения с целью получения достоверных исходных данных, обеспечивающих оперативное планирование горноподготовительных, нарезных и очистных работ, и обеспечения наиболее полного извлечения из недр запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов. Объектами изучения и оценки являются эксплуатационные этажи, блоки, уступы и другие участки месторождения в зависимости от принятой системы вскрытия, подготовки и отработки месторождения. Основными задачами эксплуатационной разведки является уточнение контуров, вещественного состава и внутреннего строения тел полезного ископаемого, количества и качества запасов по технологическим типам и сортам руд с их геометризацией, уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным участкам, горизонтам, блокам. В состав работ стадии входят проходка специальных разведочных выработок, бурение скважин, шпуров, опробование различными методами, геофизические исследования.

Таким образом, наиболее существенное воздействие на недра и поверхностный земной слой в ходе выполнения геологоразведочных работ оказывают бурение, различные открытые (расчистка, копуша, канавы, траншеи и разведочные карьеры и др.) и подземные горно-разведочные выработки. Среди последних различают вертикальные выработки (шурф, разведочная шахта, гезенк и др.) и горизонтальные выработки (штольня, штрек и др.) [24, 35] (рис. 1).

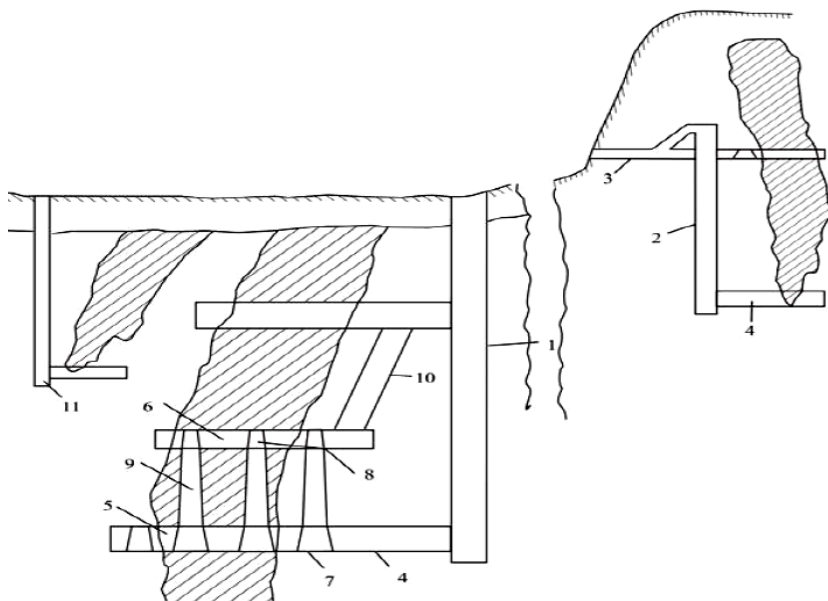


Рисунок 1. Подземные горные выработки [35]: 1 – шахтный ствол, 2 – слепой шахтный ствол, 3 – штольня, 4 – квершлаг, 5 – откаточный орт, 6 – подэтажный орт, 7 – штрек (полевой), 8 – рудничный штрек, 9–10 – восстающий, 11 – шурф.

В общем случае практически все виды поисковых и оценочных работ в той или иной мере сопровождаются загрязнением территорий производственными и бытовыми отходами, порубочными остатками (на лесных площадях), уничтожением растительности, иногда лесными пожарами [25, 26, 37]. В субарктической зоне уничтожение растительного покрова приводит к интенсивному развитию термоэрозийных и термокарстовых процессов. В ходе поисково-оценочных работ образуются хозяйственно-бытовые сточные воды (жилые поселки и т. п.) и стоки вспомогательного производства (автохозяйства, мастерские и т. п.) Дополнительная поставка поллютантов также осуществляется стационарными источниками, обычно приуроченных к поселкам геологоразведчиков.

Многие виды геологоразведочных работ, прежде всего, сопровождаются механическими нарушениями земной поверхности. Особенно к серьезным последствиям приводит перевозка буровых вышек без их разборки. Так, при транспортировании буровой вышки на 15 км нарушается до 100 га поверхности, в пустыне, например, появляется новый участок «мертвых» песков, сокращается кормовая база скота, рождаются кочующие барханы, погребаящие соседние пастбища, леса, оазисы и поселки [23]. Бездорожное передвижение транспортных и технологических колесных и гусеничных машин в процессе геологоразведочных работ оказывает наиболее существенное отрицательное влияние на почвенно-растительный слой в тундровых и аридных районах, в которых восстановление естественных ландшафтов затруднено малой интенсивностью протекания природных биологических процессов.

Транспортные трассы геологоразведочных партий провоцируют разрушение почвенно-растительного покрова, деформацию структуры и ухудшение качества почвенного слоя, уничтожение травяного покрова, при сооружении и эксплуатации происходит вырубка кустарников и деревьев. В малонаселенных и удаленных районах автомобильно-тракторные перевозки осуществляются по временным дорогам, черновым проездам или вообще без трасс. В тоже время, сооружение каждой автомобильной или тракторной дороги нередко связано с временным изъятием из фонда сельскохозяйственных или других земель того или иного участка. Обычно эти участки, если они располагаются не на пахотных землях, не учитываются в соответствующей отчетности. Дороги даже одной геологоразведочной партии измеряются десятками и сотнями километров, причем часто прокладываются не одна, а две трассы: одна – кратчайшая, для сухого времени, другая – для периодов распутицы или половодья [23]. Дороги, сооружаемые геологоразведочными организациями, прокладываются преимущественно в лесных и лесостепных районах: сроки их службы меняются от одного сезона до нескольких лет. Сооружение дорог сопровождается негативными изменениями участков земной поверхности: вырубкой леса, уничтожением травяного покрова и кустарников, нарушением гумусового слоя и т. п. Бурение скважин в районах вечной мерзлоты сопровождается оттаиванием мерзлых пород с возникновением межпластовых перетоков [23].

Основными открытыми выработками, широко используемыми для вскрытия коренных пород и полезных ископаемых, залегающих на небольшой глубине от поверхности, являются разведочные канавы. В свое время в СССР ежегодно их проходило более 20 млн. м³. В зависимости от условий и объема работ применяются следующие способы проходки открытых разведочных выработок: машинный (канавокопателями, экскаваторами, бульдозерами, колесными канатными скреперами), взрывной и ручной [23]. При эксплуатационной разведке россыпных месторождений в ряде случаев

применяется эффективный гидравлический способ проходки траншей. Технологическая вода расходуется в больших количествах в зависимости от свойств размываемых пород и высоты забоя. Она загрязняется породной взвесью, причем особенно сильно при наличии в песках тонкодисперсной глины. В сточные промышленные воды геологоразведочных партий включаются также атмосферные и поверхностные воды, загрязняемые вследствие водной эрозии породных отвалов, оставляемых около устьев разведочных горных выработок.

Сейсморазведка, проводимая со взрыванием зарядов в скважинах, нарушает растительно-почвенный слой с образованием полости – деформированной скважины с воронкой выброса в устьевой части и закрепления поверхности выброшенной при взрыве породы [23]. Образованная на поверхности полость, как и сама скважина, представляют опасность для людей и животных. Подводные взрывы зарядов взрывчатых веществ при производстве сейсморазведочных работ сопровождаются крайне негативными последствиями для поверхностных водоемов, особенно для их фауны. По аналогии с ударными воздушными волнами при взрывах зарядов взрывчатых веществ в водной среде образуются гидравлические ударные волны, в зоне распространения которых гибнут рыбы и другие гидробионты. Например, при взрыве заряда взрывчатых веществ массой 40 кг радиус поражения фауны водоема превышает 200 м.

Геологоразведочные работы, осуществляемые в пределах площадей локализации рудных месторождений, обуславливают геохимические преобразования окружающей среды, которые связаны с воздействием основного и вспомогательного производств, а также транспорта [12, 30, 39]. Основное производство включает бурение поисковых и поисково-картировочных скважин, проходку наземных и подземных горных выработок, рубки леса при прокладке геологических просек и профилей. Объекты основного производства преимущественно полевые, обычно с переменной дислокацией. Вспомогательное производство связано с обслуживанием техники, обработкой и хранением проб и т. д. Его объекты в основном стационарные. С ними часто совмещены жилые поселки геологоразведчиков. Районы поисково-оценочных работ характеризуются существенным воздействием на окружающую среду транспорта. При таких работах применяется в основном механическое колонковое бурение, особенностью которого является относительно малая глубина бурения (более 95% скважин бурится до глубины 500 м), что позволяет использовать самоходное оборудование, реагенты (в небольших объемах) обычно используются редко. Нормативное водопотребление составляет в среднем 1,7 м³/м скважины; площадь земельного участка, занимаемого скважиной, находится в пределах 0,1–0,4 га. При бурении происходит загрязнение почв, подземных вод и поверхностных водных объектов отводными водами и отработанным буровым раствором, который содержит воду, глинопорошок, барит, соль, каустическую соду и другие вещества. Некоторые смазки и реагенты содержат свинец и хром. Для утилизации вод и растворов обычно создаются отстойники, преимущественно земляные, что не исключает их прорывов. Очень часто воды и буровой раствор сбрасываются в естественные понижения рельефа, непосредственно в озера и реки. По условиям образования и хранения опасных отходов буровые установки делятся на три категории: с количеством отходов менее 100 кг

в месяц, от 100 до 1000, более 1000 кг. Большинство установок относится к первой категории, поэтому образующиеся отходы должны собираться в отдельные емкости, перевозка которых к местам захоронения (переработки) разрешается лишь при условии специальной маркировки. Буровые установки, на которых в дизель-генераторах и силовых приводах используются дизельное топливо и бензин, являются источниками поставки поллютантов в атмосферный воздух. Каждый такой источник в среднем выбрасывает более 3 т вредных веществ в год при среднем выбросе поллютантов в атмосферу 0,1 г/с. Очистка выбросов на полевых объектах обычно отсутствует. Проходка поверхностных горных выработок (канал, шурфов, траншей) сопровождается загрязнением почвенного покрова и водных объектов, в том числе в результате сброса в водотоки отвалов горных пород. Площади техногенных нарушений от подземных поисково-разведочных выработок, как правило, относительно незначительны. В основном они представлены промплощадками с размещенными на них временными сооружениями, отвалами пустых пород, подъездными путями. Проходка выработок приводит к выведению на поверхность горных пород, обогащенных химическими элементами и их соединениями, что предопределяет формирование техногенных геохимических аномалий.

Имеющиеся разрозненные данные свидетельствуют о том, что техногенное воздействие на окружающую среду горнорудных районов в той или иной степени проявляется на всех стадиях геологоразведочного процесса, начиная с геологической съемки и поисков рудных месторождений. Однако, если поисково-съемочные работы обычно сопровождаются проходкой легких горных выработок и бурением отдельных скважин, то при осуществлении геологоразведочных работ характер воздействия на окружающую среду изменяется и экологические последствия техногенных процессов в основной своей массе нередко становятся необратимыми. Например, площади нарушенных земель при проведении геологической съемки (ГДП-50) на Лабинской площади на Северном Кавказе составили 0,03 га, на участках поисковых работ – от 0,02 до 3,5 га, на Худесском и Кти-Тебердинском участках ГРР – 8,2 и 16,5 га, на территории Урупского и Тырнаузского месторождений – 35 и 450 га соответственно [13]. Это обусловлено не только объемом проводимых работ, но и продолжительностью техногенного воздействия.

В указанной выше работе [13] приводятся результаты изучения воздействия геологоразведочных работ на два объекта: Муштинский поисковый участок и Худесский участок геологоразведочных работ, которые расположены в близких ландшафтных условиях среднегорья и высокогорья Северного Кавказа. Поисковые работы на площади Муштинского участка на шеелитоносной зоне в метаморфических сланцах докембрия, перекрытых отложениями лейаса, проводились в 1990–1991 гг. Здесь в зоне субальпийских лугов на площади 1 га был уничтожен или поврежден почвенный покров (канавы, расчистки, площадки 7-ми буровых скважин, дороги, поселок). Объемы работ составили: бурение – 2500 погонных метров, канавы – 50 м³, штольня – 50 пог. м. Промоины вдоль дорог, оползни и более мелкие нарушения склонов привели к ленточному изменению почвенно-растительного слоя на протяжении в несколько километров. В травах пастбищ (из-за выноса из отвалов) содержания Pb, Zn и As более чем в 10 раз были выше местного фона. В зоне работ в почвах содержания V, Cu, Mo, Mn превышали местный

фон в 5 раз, на стоянках техники наблюдались пятна горюче-смазочных материалов (ГСМ). На Худесском участке геолого-разведочные работы проводились в 1997 г. в пределах зоны колчеданного оруденения на северном склоне хребта Ташлы-Сырт на площади 8 га. Территория участка дренируется ручьем Кислый, в 800 м ниже впадающего в р. Тахана, долина которой известна своими минеральными источниками. Инженерно-геологические (геомеханические) нарушения проявлены на площади 35 га, они выражаются в просадочно-оползневых деформациях грунтов (воронки до 40 м в диаметре и глубиной до 8 м; сдвиги грунта и трещины по склонам около шахты), вызванных повреждением лесов. Кроме указанных, к этому типу нарушений также относятся карьерный отвал с преобладанием рудоносных пород (750 x 220 м, высота 15 м) и шахтный отвал (200 x 70 м). Нарушения почвенного слоя альпийских пастбищных лугов связаны с устройством дорожных серпантинных к трем штольням с рудными отвалами, а также с промоинами и оползнями на склонах, свалками, площадками для техники, водоводом, временной застройки. Как правило, особенно при отсутствии рекультивации, первоначальная площадь нарушений со временем увеличивается. В поверхностных водах отмечались высокие концентрации V, Cu, Mo, Mn, Cd, Ag, Pb (в 2–5 раз выше ПДК_{рыбхоз}). В водах штолен содержание железа достигало 100 ПДК, причем оно активно осаждалось в виде гидроксидов при смешении штольневых вод с водами ручьев на участке русла протяжением в 1 км. По расчетам, в р. Тохана поступало до 50 м³ гидроксидов железа в год. Мезофауна в ручьях и в р. Тохана (на участке протяженностью в 10 км) отсутствовала, что свидетельствует о загрязненности вод и негативно сказывается на ценных видах рыб (форель). В водах водозабора, расположенного ниже по течению от штолен, концентрации Cd и Zn достигли значений ПДК. Площадь негативного воздействия загрязнения на растительность в 2 раза превышает площадь отвалов.

С рассматриваемой точки зрения особый интерес представляют результаты исследований, выполненных на различных месторождениях Камчатки: золото-серебряных месторождениях Родниковое и Асачинское, золото-полисульфидном месторождении Кумроч, медных золотосодержащих месторождениях Киргалик и Шаромское, а также на россыпном месторождении р. Ольховой [42–45]. Асачинское и Родниковое золото-серебряные (малосульфидного золото-сульфосольного типа золото-серебряной формации) месторождения расположены в пределах Южно-Камчатского рудного района. Территория Асачинского месторождения характеризуется среднегорным рельефом и относится к горно-лесному типу ландшафтов. Рудные тела, представленные кварц-адуляровыми жилами, залегают в субвулканическом теле андезитов-дацитов. Типоморфными элементами руд являются Au, Ag, Se, Sb, As, Mo, W, Pb, Cu. Родниковое месторождение находится в высокогорном горно-тундровом ландшафте. Рудные тела – кварцевые и кварц-адуляровые жилы, залегающие в породах габбро-диоритового интрузивного комплекса. В рудах присутствуют Au, Ag, Se, Te, Sb, As, Mo, Pb, Cu, Zn. Кумрочское месторождение (золото-полисульфидного типа золото-серебряной формации) расположено в горно-тундровом типе ландшафта Восточной Камчатки. Рудные тела представлены системой субпараллельных крутопадающих кварцевых, адуляр-кварцевых жил, локализованных в субвулканических и гипабиссальных интрузиях среднего состава. Руды содержат Au, Ag, Pb,

Zn, Cu, Mo, As, Cd. Кирганикское и Шаромское месторождения (золото-медной ортоклазовой рудной формации) находятся в Центральной Камчатке. Кирганикское – расположено в высокогорном рельефе, тип ландшафта – горно-тундровый, Шаромское – в среднегорном рельефе, тип ландшафта – горно-лесной. Золото-медные гнездово-вкрапленные руды локализованы в биотит-калишпатовых метасоматитах, состоящих из биотита, ортоклаза, пироксена, апатита, альбита, кварца, хлорита, серицита. Основными спутниками меди являются Mo, Ti, P, Au, Ag, Pb, Zn. Россыпное месторождение р. Ольховой находится в зоне равнинных предгорий, в лугово-лесном типе ландшафтов. Россыпь смешанного руслового и ложкового типа. Было установлено, что основными видами техногенного воздействия при проведении геологоразведочных работ (ГРР), прежде всего на рудных месторождениях, являются механические нарушения ландшафтов и загрязнение компонентов окружающей среды химическими элементами.

Механические нарушения ландшафтов связаны с проходкой поверхностных и подземных горных выработок, устройством площадок под буровые установки, прокладкой временных дорог, строительством бытовых и хозяйственных объектов. При проходке горных выработок и прокладке дорог происходит практически полное уничтожение растительно-почвенного покрова на площади, равной их сечению. Уничтожение растительности и частичная деградация почв отмечаются также под отвалами канав и штолен, в результате развития эрозийных и обвально-оползневых процессов, спровоцированных геологоразведочными работами. Нарушенность ландшафтов (отношение общей площади механических нарушений к площади месторождения) и интенсивность нарушений (отношение площади полностью нарушенных ландшафтов к общей площади нарушений) определяются в основном ландшафтными условиями и техническими приемами разведки (табл. 4).

Ландшафтные условия влияют на общую площадь проявления механических нарушений. Так, на месторождениях Кумроч, Родниковое и Асача, расположенных в зоне интенсивных вулканических пеплопадов, площади, погребенные под отвалами канав и траншей, из-за большей мощности вскрышных пород значительно выше, чем в зоне умеренных и слабых пеплопадов (Кирганик, Шаромское). Максимальной мощностью (4–6 м) рыхлые образования достигают в ландшафтах предгорий, вследствие чего разведка месторождений в таких условиях приводит к самым большим по площади механическим нарушениям (Асача). В районах с интенсивно расчлененным высокогорным рельефом дополнительным фактором, приводящим к двукратному увеличению общей площади механических нарушений, является прокладка подъездных дорог – серпантинов (Кумроч, Родниковое). Развитие экзогенных процессов, спровоцированных геологоразведочными работами, наиболее ярко проявляется в районах с расчлененным высокогорным рельефом. На месторождениях Кумроч и Родниковое процессы размыва техногенных отвалов канав привели к существенному увеличению площадей, на которых почвы и растительность погребены под грязевыми потоками и шлейфами из вулканических пеплов. Здесь же, а также на месторождении Кирганик при подрезке склонов канавами развиваются оползневые и осыпные процессы.

Площади механических нарушений ландшафтов при разведке месторождений Камчатки [44]

Показатель	Асача, золото-серебряное	Родниковое, золото-серебряное	Кумроч, золото-полисульфидное	Кирганик, медное золотосодержащие	Шаромское, медное золотосодержащие	Россыпь Ольховая
	6	3	4	2	2	4
Общая площадь нарушений, км ² в т. ч. с полностью уничтожен- ным почвенно-растительным покровом, км ²	0,8	0,6	0,5	0,2	0,2	0,2
Интенсивность, %	13	20	13	10	10	5
Площадь месторождения, км ²	15	8	8	10	8	—
Нарушенность, %	40	40	50	20	25	—

Особенности проведения разведочных работ влияют на интенсивность проявления механических нарушений. Так, при разведке золоторудных месторождений с поверхности плотность размещения горных выработок выше как за счет сгущения сети канав, так и за счет проходки траншей, которые не используются при разведке меднорудных объектов. Кроме того, при разведке золоторудных месторождений на глубину обязательна проходка штолен, в то время как на медных объектах используется бурение. Эти различия приводят к увеличению объемов горных работ и интенсивности механических нарушений ландшафтов. На золоторудных месторождениях интенсивность проявления нарушений в 1,3–2 раза выше, чем на меднорудных. Минимальной интенсивностью характеризуются механические нарушения ландшафтов при разведке россыпных месторождений, где в основном применяются шурфы и скважины. В общем случае устанавливается следующий ряд воздействий ГРП на ландшафты (по возрастанию нарушений и интенсивности): горно-тундровые ландшафты в зоне умеренных и слабых пеплопадов – лесные ландшафты в зоне умеренных и слабых пеплопадов – лесные ландшафты в зоне интенсивных пеплопадов – горно-тундровые ландшафты в зоне интенсивных пеплопадов. В одинаковых ландшафтных условиях механические нарушения на золоторудных месторождениях более существенные, нежели на меднорудных. Необходимо отметить, что естественное восстановление нарушенных геологоразведочными работами горно-тундровых ландшафтов месторождений (Кирганик, Родниковое) происходит очень медленно. Лишь через 15–30 лет после окончания ГРП нарушения в незначительной степени нивелируются в результате осыпания и оплывания бортов канав и слабого зарастания редкой рудеральной растительностью. Более благоприятная обстановка наблюдается в горно-лесных (Шаромское, Асачинское) и лугово-лесных (россыпь р. Ольховой) ландшафтах, где восстановление происходит гораздо быстрее и проявляется в интенсивном зарастании и нивелировании нарушенных территорий.

ГРП обуславливают загрязнение окружающей среды главным образом химическими элементами, входящими в состав руд; в существенно меньшей степени – нефтепродуктами и буровыми растворами, почвы, кроме того, захламбляются металлоломом, строительным и бытовым мусором. Основными источниками поступления химических элементов являются отвалы (техногенные отложения) канав и штолен (табл. 5). Качественный состав геохимических ассоциаций, фиксируемых отвалами канав на золоторудных месторождениях, практически идентичен составу природных (рудогенных) аномалий в почвах. На меднорудных объектах он расширяется за счет Pb, Zn, Ni, Cr, Mo, Co, V, которые не образуют аномалий в почвах из-за невысоких концентраций этих металлов в медных рудах. В техногенных отвалах на золото-серебряных месторождениях (Асача, Родниковое) наиболее высокими коэффициентами концентрации (K_c относительно местного фона в почвах более 10) отличаются As и Hg; на золото-полисульфидном (Кумроч) – As, Pb, Cu, Zn, Co; на меднорудных (Кирганик, Шаромское) – Cu. Как правило, в материале отвалов штолен степень концентрирования химических элементов всегда выше, чем в отвалах канав, т. е. отвалы штолен являются более значимым потенциальным источником поставки в окружающую среду поллютантов.

**Ассоциации химических элементов в техногенных отложениях,
являющихся источниками загрязнения [44]**

Месторождение	Отложения	Коэффициенты концентрации (K _c) элементов	
		2–10	10–100
Асачинское	Отвалы канав	Se-As-Hg	–
	Отвал штольни 1	Se-Mo-Sb-Pb-Te	As-Hg
Родниковое	Отвалы канав	Se-Hg	As
	Отвал штольни 2, отметка 290 м	Pb-Zn-Se	As-Hg
	Отвал штольни 1, отметка 220 м	Te-Se-Mn	As-Hg-Sr
Кумроч	Отвалы канав выше отметки 800 м	Hg-Sb	As-Pb
	Отвалы канав ниже отметки 800 м	As-Hg-Mo-Mn-Bi	Pb-Cu-Zn-Co
Кирганик	Отвалы канав	Pb-Hg-Ni-V-Mo	Cu
Шаромское	Отвалы канав	Pb-Zn-Hg-Ni-Cr-Mo-Co	Cu
Ольховое	Отвалы промывки и вскрыше	Cr-Ni-Co-Cu-Zn	–

В штольневых отвалах золоторудных месторождений появление в составе техногенных ассоциаций дополнительных элементов связано не только с меньшим разубоживанием рудного материала по сравнению с отвалами канав, но и с вертикальной зональностью коренного оруденения. Необходимо отметить, что типичным элементом техногенных ассоциаций должно быть также и серебро, которое, судя по всему, авторами цитируемых работ не исследовалось.

Изучение (методом последовательных вытяжек) форм нахождения меди, цинка и свинца в материале отвалов штольни и канав золото-серебряных месторождений показало следующее. Прежде всего, существенная часть меди и цинка накапливается в отвалах преимущественно в прочносвязанных формах (очевидно, в кристаллических и силикатных) (табл. 6). Свинец явно более подвижен – суммарный его выход в вытяжки составляет 50–66%. Необходимо отметить, что эти металлы отличаются высокими валовыми концентрациями в техногенных образованиях, что обуславливает достаточно высокий общий пул их подвижных форм нахождения в отвалах и априори свидетельствует об относительно высокой подвижности и способности включаться в геохимические миграционные цепи. К тому же определенная доля относительно подвижных форм в ряде случаев представлена значимыми удельными содержаниями сорбированных и карбонатных форм металлов, а также их соединений, связанных с оксидами и гидроксидами железа (так называемые ферри-формы), возможно, со свежесажденными, которые в меняющихся условиях окружающей среды способны достаточно активно трансформироваться, что увеличивает миграционную способность металлов.

**Формы нахождения тяжелых металлов в техногенных образованиях
золото-сульфосольных месторождений [44]**

Металл	Формы нахождения, %					остаток *
	сорбирован- ная	органиче- ская	карбонат- ная	ферри- форма	сумма	
<i>Асачинское месторождение, штольневый отвал</i>						
Медь	9	1,5	0,5	8,2	19,2	80,8
Цинк	4,8	0,3	0,2	7,5	12,7	87,3
Свинец	18	–	3,4	45	66,4	33,6
<i>Асачинское месторождение, отвалы канав</i>						
Медь	0,3	12,3	2,0	12,3	26,9	73,1
Цинк	1,2	0,35	0,2	5,3	7,1	92,9
Свинец	–	–	4,3	27,3	31,6	68,4
<i>Родниковое месторождение, штольневый отвал</i>						
Медь	0,1	3,8	5,9	18,8	28,6	71,4
Цинк	0,3	0,1	7,1	13,9	21,4	78,6
Свинец	–	–	21,4	28,8	50,2	49,8
<i>Родниковое месторождение, отвалы канав</i>						
Медь	0,3	18	3,2	24	48,5	51,5
Цинк	1,2	0,4	0,1	14,2	15,9	84,1
Свинец	–	–	3,4	53	56,4	43,6

* Предположительно кристаллические и силикатные формы.

Так, на Асачинском месторождении в штольневых отвалах до 19–20% меди присутствовало в относительно подвижных формах (сорбированных, органических, карбонатных, ферри-формах), среди которых явно доминировали сорбированные и ферри-формы, в отвалах канав доля меди в подвижных формах достигала почти 27% (доминировали органическая и ферри-форма). Подвижные формы цинка в отвалах штолен составляли около 13% (преобладала ферри-форма, в меньшей степени – сорбированные формы), в отвалах канав доля подвижных форм было порядка 7% (при резком доминировании ферри-форм). Очень специфичен свинец, доля подвижных форм которого в отвалах штольни достигала 66% (при резком преобладании ферри-форм), в отвалах канав они составляли почти 32% (также доминировали ферри-формы). На Родниковом месторождении в штольневом отвале доля подвижных форм меди достигала почти 29% (доминировали ферри-формы и в меньшей степени карбонатные), в отвалах канав доля подвижных форм меди составляла 48,5% (преимущественно ферри-формы и органические). Доля подвижных форм цинка в отвалах штольни составляла более 21% (в основном ферри-формы), в отвалах канав – около 16% (резкое доминирование ферри-форм). Порядка 50–56% свинца в отвалах штольни и канавы находилось в подвижных формах, причем в отвалах канав резко доминировали его ферри-формы, в отвалах штольни – ферри-формы и карбонатные соединения этого металла. Причиной наблюдаемых на разных месторождениях различий в балансе форм нахождения металлов, входящих в однотипные руды, является состав формирующихся кор выветривания на поверхности штольневых отвалов. Так, на Асачинском месторождении основным минералом в штольневом отвале является кварц, вхо-

ящий в состав руд и околорудных кварц-пирит-калишпат-гидрослюдистых метасоматитов. Здесь в результате выветривания на поверхности отвала формируется кора выветривания силикатного типа, содержащая глинистые минералы: монтмориллонит, галлуазит, нонтронит. На Родниковом месторождении отвалы состоят из кварца и кальцита примерно в одинаковых пропорциях, что предопределяет формирование коры выветривания карбонатного типа.

Изучение форм нахождения меди в техногенных отвалах медных месторождений показало следующее. Так, на месторождении Кирганик при валовом содержании Cu в отвале 0,6% было установлено ее присутствие в форме сульфоарсената (арсентцумебит) и арсената (клиноклаз). В апетат-аммонийной вытяжке концентрация Cu составила 0,04% или 6,7% от валового содержания. На Шаромском месторождении основная часть Cu приходилась на ферри-формы – 72%, на органическую – 8%, сорбированную – 3%. При валовых содержаниях Cu в отвале 0,5% содержания ее подвижных форм составляют 0,05%, что является достаточно высоким уровнем и может представлять опасность для окружающей среды.

На золото-полисульфидном месторождении Кумроч формы нахождения Pb, As, Zn, Cu были изучены в техногенных отвалах канав, вскрывающих малосульфидные и умеренно-сульфидные руды. В первом случае основными формами Zn и Cu в техногенных отвалах канав являлись силикатные (до 80–85% этих элементов содержатся в неизвлекаемой остатке после обработки проб 1 N HNO₃). Основной формой нахождения As в техногенных отвалах выступали арсенаты и сульфоарсенаты Pb и Cu. В отвалах канав, вскрывающих умеренно-сульфидные руды золото-полиметаллические руды, установлены повышенные содержания Mn (6%) и Fe (6%), которые присутствуют в виде аморфных MnO(OH)_x и FeO(OH)_x. Еще раз отметим, что несмотря на преобладание в отвалах прочносвязанных форм химических элементов, их высокие валовые содержания и высокие удельные концентрации конкретных подвижных форм априори предопределяют их повышенную экологическую опасность и значимость техногенных отвалов как источников поставки поллютантов в окружающую среду.

Значимыми источниками поступления химических элементов, сульфатов и хлоридов являются рудничные и дренажные воды (табл. 7).

Таблица 7

Ассоциации химических элементов в рудничных и дренажных водах золото-сульфосольных месторождений [44]

Месторождение	Воды	Геохимическая ассоциация и значения Кс элементов		
		2–10	10–100	> 100
Асачинское	Рудничные, штольня	Cu	SO ₄ ²⁻	–
	Дренажные, отвал	Se-Mn-Cd	SO ₄ ²⁻ -Cu-Zn-As	–
Родниковое	Рудничные, штольня	Pb-Mn-Ni-Mo	SO ₄ ²⁻ -Cl-Sr	As
	Дренажные, отвал	Pb-Mn-Ni-Mo	SO ₄ ²⁻ -Cl-As-Sr-B	–

В водах золото-сульфосольных месторождений наибольшими концентрациями характеризуются As, В, Sr, сульфаты и хлориды (рудничные термальные воды Родникового месторождения, приуроченного к Мутновско-Паратунскому геотермальному бассейну). Кислые слабоминерализованные рудничные воды Асачинского месторождения отличаются повышенными уровнями Си и сульфатов, дренажные воды отвала – сульфатов, Cu, Zn, As, Cd, Mn и Se. Поступление химических элементов от отвалов происходит в результате размыва последних атмосферными осадками и под действием гравитационных сил, что, прежде всего, сказывается на составе почв и, в меньшей степени, на растительности. Загрязнение почв носит площадной характер, его масштабы зависят от рельефа местности, обычно возрастают с увеличением ее расчлененности.

Состав техногенных геохимических аномалий в почвах неплохо соответствует составу ассоциации элементов, накапливающихся в отвалах канав (табл. 8). На золото-сульфосольных месторождениях интенсивность техногенных аномалий, фиксируемых почвами, в основном находится на уровне интенсивности установленных природных (рудогенных) аномалий. Более высокий, по сравнению с природным, уровень техногенного загрязнения почв характерен для меднорудных месторождений. Это определяется как высокими концентрациями меди (основного рудного элемента) в техногенных образованиях, так и продолжительным периодом времени, прошедшим после завершения геологоразведочных работ (более 30 лет). Уровень накопления химических элементов в растительности на участках техногенного загрязнения почв на всех месторождениях практически не отличается от природного. Это объясняется слабой доступностью для растений основных рудных элементов, которые находятся преимущественно в труднорастворимых формах. Состав ассоциаций химических элементов в растительности свидетельствует о том, что из загрязненных почв относительно легко заимствуется только молибден (и, вероятно, мышьяк, по которому есть единичные определения). На меднорудных объектах в составе геохимических ассоциаций появляется медь, которая не накапливается в растительности на участках развития природных (рудогенных) геохимических аномалий.

Отвалы разведочных штолен в пределах территории изученных месторождений занимают относительно небольшие площади (около 10 тыс. м²) и располагаются, как правило, по берегам небольших ручьев и рек, что способствует их размыву поверхностными водами и выносу химических элементов. Так, на Родниковом месторождении в условиях резко расчлененного рельефа штольневые отвалы, размещенные на берегу р. Вилючи, интенсивно размываются и являются источниками поступления в водоток осадочного материала, обогащенного химическими элементами. В речных отложениях наиболее интенсивно концентрируются As (K_c до 20) и Pb (до 10). Максимумы их содержаний в донных отложениях приурочены к различным отрезкам реки и отвечают соотношению этих металлов в штольневых отвалах, содержащих руды разных горизонтов месторождения, характеризующегося контрастной вертикальной зональностью. Техногенный поток рассеяния в донных отложениях прослеживается до 1 км и отвечает визуально наблюдаемому на дне реки шлейфу обломков рудного кварца. На Асачинском месторождении (в условиях менее расчлененного рельефа) штольневой отвал, расположенный на берегу небольшого руч. Семейный, размывается слабо, что практически не сказывается на распределении химических элементов в донных отложениях ручья.

Техногенные геохимические ассоциации в почвах и растительности в зонах влияния отвалов поверхностных горных выработок разных месторождений [44]

Компонент	Показатель	Месторождения			
		Асачинское	Родниковое	Кумроч	Кирганик
Почвы	Состав	Se _{4,8} -As _{2,3} -Hg _{2,2}	As _{8,7} -Se _{3,9} -Hg _{2,8}	Pb _{9,9} -As _{5,6} -Hg _{2,9}	Cu ₈₆ -(Hg-Pb-Ni) _{2,5} -Mo _{2,3}
	Zc	7,3	13	16	42
Растительность	Состав	Mo ₆ -Ag ₂	Mo _{4,5} -Ni _{3,5} -Cr _{2,5} -Zn _{2,5}	-	V _{4,5} -Mo ₂
S	Стехногенных аномалий, км ²	0,6	0,4	?	1,5
S	Стехногенных/Сприродных аномалий	0,014	0,24	?	0,75
					?

Примечание. S – площадь, Zc – суммарный показатель загрязнения.

Влияние штольневых отвалов на почвы и растительность связано с осыпанием бортов и с их размывом атмосферными осадками. Пыление штольневых отвалов незначительно и лимитируется увлажнением поверхности в результате регулярно выпадающих осадков. Загрязнение почв и растительности вокруг штольневых отвалов ограничивается расстоянием в 10–20 м. На Асачинском месторождении в почвах наиболее интенсивно концентрируются As, Se и Pb (K_c 2–7), в растительности – Mo, Zn, Sr (2–15). На Родниковом месторождении почвы вокруг штольневых отвалов отличаются повышенными уровнями валовых концентраций As и Pb (2–5), повышенными уровнями подвижных форм Pb и Cu (в 2–5 раз выше ПДАК), в растительности наиболее интенсивно накапливаются Mo, Mn и Ni (K_c 2–10).

Таким образом, основными видами воздействия ГРП в рудных районах Камчатки являются механические нарушения ландшафтов и загрязнение окружающей среды химическими элементами (входящими в состав руд), а также (поверхностных вод) сульфатами и хлоридами. Масштабы механических нарушений ландшафтов связаны с интенсивностью вулканических пеплопадов, типами ландшафтов и особенностями разведки. В наибольшей степени нарушены ландшафты в районах разведки золоторудных месторождений в зоне интенсивных пеплопадов, где выше плотность поверхностных горных выработок и применялась штольневая разведка. В меньшей степени нарушены ландшафты меднорудных объектов, расположенные в зоне умеренных пеплопадов, которые разведывались с поверхности более редкой сетью канав, а на глубину – бурением. Восстановление нарушений происходит более быстрыми темпами в лугово-лесных ландшафтах, наиболее медленно – в горно-тундровых. Основными источниками поставки химических элементов в окружающую среду являются рудные тела, типоморфными поллютантами As, Se, Hg (золото-сульфосольный тип), Pb, As, Hg (золото-полисульфидный тип); Cu (золото-медно-ортоклазовый тип). Уровень природного (рудогенного) загрязнения в районах месторождений является минимальным (низким) и определяется приуроченностью к зонам пеплопадов различной интенсивности и не зависит от типа руд. Основными источниками техногенного загрязнения на рудных месторождениях являются отвалы канав и штолен. Степень концентрации основных As, Hg, Pb, Cu в отвалах характеризуется средним или высоким уровнем (K_c 10–100). Техногенные отвалы одновременно являются геохимическими барьерами: сорбционным при образовании глинисто-силикатных кор выветривания (для As, Zn, Cu); щелочным при образовании карбонатных кор выветривания (для As, Pb, Zn) и на начальных этапах их существования частично препятствуют загрязнению окружающей среды. Химические элементы находятся в отвалах преимущественно в труднорастворимых формах, однако для ряда из них достаточно существенна доля и удельное содержание подвижных форм, что предопределяет их потенциальную повышенную миграционную способность. Основными компонентами окружающей среды, подверженным техногенному загрязнению от отвалов канав, являются почвы, от штольневых отвалов – донные отложения ручьев и рек. Уровень техногенного загрязнения почв в районе влияния отвалов канав преимущественно низкий, площади техногенного загрязнения максимальны в условиях расчлененного рельефа. Наибольшая интенсивность техногенного загрязнения почв выявлена на медных объектах. Техногенные потоки в донных отложениях водотоков в зонах влияния штольневых отвалов прослеживаются до 1 км и отличаются средней интенсивностью концентрирования химических элементов.

Автором [38], изучившим эколого-геохимическую обстановку в Айхальском промышленном районе, в пределы которого входит Алакит-Моркокинский объект, сформировавшийся как район поисков и добычи алмазов (его площадь составляет около 300 км²), где проводятся поисковые и геологоразведочные работы, установлено следующее: 1) Эколого-геохимическая обстановка, сложившаяся в данном районе, во многом определяется его геологическим строением. 2) Экологическое состояние природной среды в пределах перспективной алмазоносной площади оценивается как условно благоприятное, с незначительными по площади участками, имеющими неблагоприятную и весьма неблагоприятную оценку. Около 20% территории характеризуется деградацией почвенно-растительного покрова, обусловленной движением тяжёлой и буровой техники. 3) Геохимические аномалии в почвах данного района имеют в основном природный генезис, причем наиболее высокими концентрациями отличаются хром и кобальт. 4) Поисковые и геологоразведочные работы формируют техногенные загрязнения, связанные с газовыми выбросами двигателей внутреннего сгорания, что проявляется в загрязнении компонентов природной среды свинцом, хромом и никелем.

Геологоразведочные работы на нефть и газ

Геологоразведочные работы на нефть и газ в зависимости от стоящих перед ними задач и состояния изученности нефтегазоносности недр подразделяются на 3 этапа и 6 стадий (рис. 2, табл. 9).

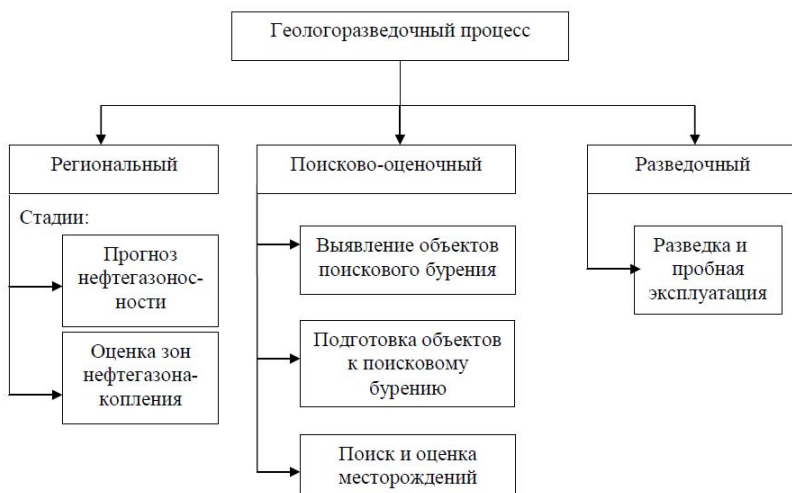


Рисунок 2. Этапы и стадии геологоразведочного процесса на нефть и газ.

Схема стадийности геологоразведочных работ на нефть и газ [7]

Этап	Стадия	Объект изучения	Типовой комплекс работ
Региональный	Прогноза нефтегазоносности	Осадочные бассейны и их части	Дешифрирование материалов аэро-, фото- и космических съемок, геологическую, гидрогеологическую, структурно-геоморфологическую, геохимическую мелкомасштабные съемки и другие исследования; аэромагнитная, гравиметрическая съемки масштабов 1:200000 1:50000, электроразведка; сейсморазведочные работы по системе опорных профилейных пересечений; бурение опорных и параметрических скважин на опорных профилях в различных структурно-фациальных условиях; обобщение и анализ геолого-геофизической информации, результатов бурения скважин
Помско-оценочный	Оценки зон нефтегазоносности Выявления объектов поискового бурения	Нефтегазоперспективные зоны и зоны нефтегазонакопления Районы с установленной или возможной нефтегазоносностью	Те же работы, но выполняющиеся по более плотной сети наблюдений и с укрупнением масштабов исследований до 1:100000-1:25000 Дешифрирование материалов аэрофото- и космических съемок локального и детального уровня генерализации; структурно-геологическая (структурно-геоморфологическая) съемки; гравиразведка, магниторазведка и электроразведка; сейсморазведка по системе взаимосвязанных профилей; бурение структурных скважин; специальные работы и исследования по прогнозу геологического разреза и прямым поискам
	Подготовки объектов к поисковому бурению	Выявленные ловушки	Высокоточная гравиразведка и детальная электроразведка; Детальная сейсморазведка; бурение структурных скважин
	Поиска и оценки месторождения (запалеж)	Подготовленные ловушки, открытые месторождения (запалежи)	Бурение и испытание поисковых-оценочных скважин; детализационная скважинная и наземная (морская) сейсморазведка; специальные работы и исследования по изучению геологического разреза и положения контуров залежей и элементов ограничения залежи
Разведочный	Разведки и пробной эксплуатации	Промышленные месторождения (запалежи)	Бурение разведочных (в ряде случаев опережающих) эксплуатационных скважин; перенатерпегация геолого-геофизических материалов с учетом данных по пробуренным скважинам; проведение детализационных геолого-геофизических работ на площади и в скважинах; проведение пробной эксплуатации залежи.

Целью региональных геолого-геофизических работ является изучение основных закономерностей геологического строения слабо исследованных осадочных бассейнов и их участков и отдельных литолого-стратиграфических комплексов, оценка перспектив их нефтегазоносности и определение первоочередных районов и литолого-стратиграфических комплексов для постановки поисковых работ на нефть и газ на конкретных объектах. Поисково-оценочные работы проводятся с целью обнаружения новых месторождений нефти и газа или новых залежей на ранее открытых месторождениях и оценка их запасов в сумме категорий C_1 и C_2 . Целью разведочного этапа является изучение характеристик месторождений (залежей), обеспечивающих составление технологической схемы разработки (проекта опытно-промышленной эксплуатации) месторождения (залежи) нефти или проекта опытно-промышленной эксплуатации месторождения (залежи) газа, а также уточнение промысловых характеристик эксплуатационных объектов в процессе разработки.

Комплекс исследований и работ, выполняемый в скважинах различных категорий, определяется в соответствии с «Классификацией скважин, бурящихся при геологоразведочных работах и разработке нефтяных и газовых месторождений (залежей)» [7], которая устанавливает единые категории скважин, сооружаемых с целью региональных исследований, выявления и подготовки структур, поисков, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений или залежей. Все скважины, бурящиеся при геологоразведочных работах и разработке нефтяных и газовых месторождений или залежей, подразделяются на следующие категории: опорные, параметрические, структурные, поисково-оценочные, разведочные, эксплуатационные, специальные.

Опорные скважины бурят для изучения геологического строения крупных геоструктурных элементов земной коры, определения общих закономерностей распространения комплексов отложений, благоприятных для нефтегазоаккумуляции, с целью выбора наиболее перспективных направлений геологоразведочных работ на нефть и газ. Бурение опорных скважин является составной частью комплекса региональных геолого-геофизических исследований на нефть и газ. Параметрические предназначены для изучения геологического строения, геолого-геофизических характеристик разреза и оценки перспектив нефтегазоносности возможных зон нефтегазоаккумуляции, выявления наиболее перспективных районов для поисковых работ. Бурение параметрических скважин является ведущим видом региональных геолого-геофизических исследований на нефть и газ в относительно изученных районах. Структурные скважины используют в ряде районов для выявления и подготовки к поисковому бурению перспективных площадей. Поисково-оценочные скважины – на площадях, подготовленных к поисковым работам, с целью открытия новых месторождений нефти и газа или новых залежей на ранее открытых месторождениях и оценки их промышленной значимости. Разведочные скважины бурят на площадях с установленной промышленной нефтегазоносностью для уточнения запасов и сбора исходных данных для составления технологической схемы разработки (проекта опытно-промышленной эксплуатации) залежи. Эксплуатационные – для разработки и эксплуатации залежей нефти и газа. В эту категорию входят опережающие эксплуатационные, эксплуатационные, нагнетательные и наблюдательные (контрольные, пьезометрические) скважины. Опережающие эксплуатационные – на разрабатываемую или подготовленную к опытной эксплуатации залежь нефти с целью уточнения параметров и ре-

жима работы пласта, выявления и уточнения границ обособленных продуктивных полей, а также оценки выработки отдельных участков залежи для дополнительного обоснования рациональной разработки и эксплуатации залежи. Эксплуатационные – для извлечения нефти и газа из залежи. Нагнетательные – для проведения воздействия на эксплуатируемый пласт с помощью закачки воды, газа и других агентов. Наблюдательные – для осуществления систематического наблюдения за изменением давления, положения межфлюидных контактов и других параметров в процессе эксплуатации пласта. Специальные скважины – для проведения различных исследований, сброса промысловых вод, ликвидации открытых фонтанов нефти и газа, подготовки подземных хранилищ углеводородов и закачки в них газа и жидких углеводородов, строительства установок для захоронения промышленных стоков (нагнетательные, контрольные, наблюдательные), разведки и добычи технических вод.

Прогнозирование нефтегазоносности производится на основе гравиметрического анализа, электроразведки, геохимических исследований, ландшафтного анализа и других дистанционных методов. Вполне обоснованно считается [31], что они практически не оказывают серьёзного воздействия на природные комплексы.

Бурение скважин, особенно поисково-оценочных и разведочных, оказывает воздействие на целостность массива горных пород, на окружающую природу и приводит к загрязнению подземных вод углеводородами, обводнению залежей, загрязнению различных компонентов окружающей среды химическими реагентами буровых растворов [4], а также веществами, содержащимися в пластовых водах. В частности, к загрязнению поверхности приводит: открытое фонтанирование скважин, особенно если в нефтях или газах содержится сероводорода; прорыв газа по трещинам в виде грифонов; излияние минерализованных подземных вод, которые нередко отличаются высокими концентрациями многих тяжелых металлов, лития, цезия, рубидия, стронция, калийных солей, щелочей. Значительный ущерб может нанести интенсивная эксплуатация разведочных и эксплуатационных скважин на газонефтяных и газоконденсатных месторождениях. Снижение давления на газонефтяных месторождениях приводит к потерям при разработке нефтяной оторочки, а для газоконденсатных залежей – к выпадению в жидкую фазу и потере тяжелых углеводородов. Особенно сильное негативное воздействие поисково-оценочные работы оказывают в случае их проведения в зоне многолетней мерзлоты (криолитозоне), так как окружающая среда здесь наиболее уязвима при проведении сейсморазведочных работ, бурении скважин, строительстве дорог и т. п.

Геологоразведочные работы на нефть и газ достаточно активно проводились и продолжают проводиться на значительных территориях России, особенно в Тюменской области, Красноярском крае и ряде других регионов страны. Например, по имеющимся данным, 2/3 территории таежной зоны Тюменской области прошло через этап региональных разведочных работ (рис. 3).

В пределах значительной части территории Красноярского края воздействие на окружающую среду каждого из этапов (и соответствующих стадий) геологоразведочных работ имеет свою специфику, но в целом практический на всех стадиях работ основными источниками влияния на окружающую среду – с точки зрения ее загрязнения – являются бурение, испытание и эксплуатация скважин, буровые амбары, циркуляционные системы жидкостей, тяжелая техника [46, 47]. Особую опасность представляют аварийные выбросы пластовой жидкости, низкая герметичность оборудования, плохое

цементирование, прорывы и переполнение буровых амбаров [41]. Как показывает опыт, даже при соблюдении требований экологической безопасности и при безаварийном осуществлении геологоразведочных работ негативного воздействия на окружающую среду исключить полностью практически невозможно.

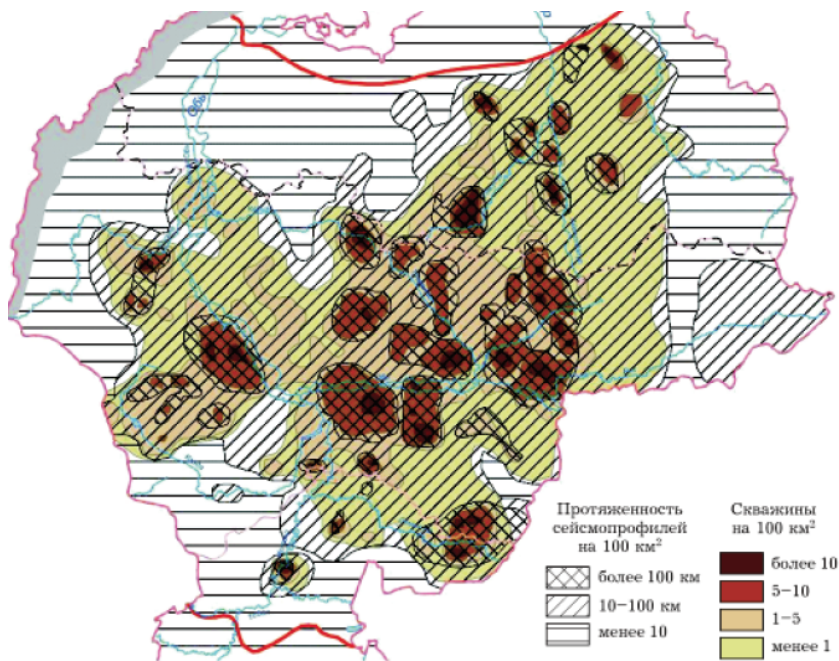


Рисунок 3. Освоенность территории таежной зоны Тюменской области поисково-разведочными работами [34].

Обычно геологоразведочные работы проводятся на больших площадях, которые заметно превышают площади возможных месторождений. Например, площадь Шушукского участка, расположенного в пределах Эвенкии, составляет 2100 км², а площадь открытого в его пределах нефтегазоконденсатного месторождения – 450 км², площадь Боршевского месторождения 420 км², опойсковываемой площади – 1370 км² [46]. Таким образом, геологоразведочные работы потенциально способны оказывать воздействие на достаточно значительные по площади территории. Кроме того, технология проведения некоторых видов геологоразведочных работ на нефть и газ и используемые при этом химические реагенты (эмульсионные растворы на углеводородной основе и пр.) по степени вредности не только не уступают негативному воздействию сырой нефти на окружающую среду (особенно на почвы и воды), но и зачастую существенно превышают ее опасность [47]. В частности, содержание нефтяных компонентов в «фоновых» почвах уча-

стков, на которых осуществляются геологоразведочные и впоследствии добычные работы, составляет десятые-тысячные доли грамма на 1 кг почвы [46]. В почвах, расположенных вблизи технических систем, содержание углеводородов в почвах заметно увеличивается и может достигать 0,5–1,5 г/кг, иногда до 2,0 г/кг даже вне морфологически видимых техногенных потоков.

Исследования, выполненные в 2007 г. на территории Богучанского и Эвенкийского районов Красноярского края, где расположены 4 участка, на которых осуществлялось строительство поисковых скважин на нефть и газ, показали следующее [20, 46]. (Ранее, в 2006 г., на этих же участках были выполнены работы по оценке исходного «фонового» состояния окружающей среды, т. е. до начала интенсивного оплодотворения территории.) Буровые площадки находятся на достаточном расстоянии друг от друга (более 80 км). Одна из них расположена в бореальной ландшафтной зоне среднетаежной подзоны, в пределах элювиального ландшафта (холмисто-увалистое плато с выходами коренных пород, перекрываемых малоомощными щебенистыми-суглинистыми отложениями, дерновыми и дерново-подзолистыми почвами). В апреле 2007 г. на исследуемой площади началось бурение поисковой скважины. В июне были выполнены исследования состава почв в пределах буровой площадки. В районе амбара для сжигания газа и склада химических реагентов в почвогрунтах были установлены концентрации хлоридов и нефтепродуктов, которые превышали фоновые уровни в 4,1 и 7,5 раз соответственно; отмечались также повышенные содержания кобальта (в 2,7 раз выше фона), меди (2,6), свинца (7,5). Концентрация нефтепродуктов в районе промышленной площадки и склада ГСМ достигала 900 мг/кг (в 7,5 раз выше фона). Опробование почвогрунтов, выполненное в сентябре 2007 г., показало, что максимальная концентрация нефтепродуктов достигала 160 мг/кг, а содержания кобальта, меди, свинца в почвогрунтах снизились практически до фоновых уровней. Результаты исследования почв весной 2008 г. указывают на то, что концентрации большинства загрязняющих веществ снизились практически до фоновых уровней. При обследовании другой буровой площадки, расположенной в пределах трансэлювиального ландшафта, при проведении буровых работ в 2008 г. наблюдалась следующая ситуация. Концентрации хлоридов и нефтепродуктов возросли по сравнению с фоновыми в 6,3 и 8,3 раз соответственно, кобальта в 3, свинца в 8,2 раза. При обследовании участка в летний период 2009 г. содержания указанных веществ снизились до фоновых показателей (за исключением нефтепродуктов, концентрация которых в 2 раза превышала фон). В обоих случаях отмеченное снижение содержания поллютантов авторами цитируемых работ объясняют естественной реверсией почвогрунтов, приуроченных к элювиальному типу элементарного ландшафта. Характерно, что при аналогичных исследованиях, выполненных в пределах элементарного ландшафта аккумулятивного типа (с той же литогенной основой), процесс самоочищения почвогрунтов не зафиксирован. Так, концентрации загрязняющих веществ в период бурения скважины на третьей из обследованных площадок в 2008 г. увеличивались: коэффициент концентрации (относительно фона) хлоридов составлял 5,4, нефтепродуктов – 5,2, кобальта – 2,8, меди – 1,6, свинца – 2,2. При обследовании этого же участка через год коэффициенты концентраций указанных поллютантов практически не изменились (за исключением нефтепродуктов, уровень которых снизился почти в два раза). Таким образом, особенности временного распределения поллютантов на буровых площадках во многом определяются своеобразием местных (элементарных) ландшафтов, обуславливающих способность почв к самоочищению.

В пределах Шушукского перспективного на нефть и газ участка (верховья р. Тычаны), площадь которого составляет 2100 км², где проводились исследования геофизическими методами с целью обнаружения потенциальных ловушек углеводородов, а также осуществлялись подготовительные работы для бурения поисковых скважин на нефть и газ, авторами [20, 21] установлены следующие основные негативные воздействия геологоразведочных работ на окружающую среду: механическое влияние, уничтожение почвенно-растительного покрова, физико-химическое загрязнение окружающей среды (связанное с выбросами пыли, поступлением углеводородов в атмосферу, почву и воды), внутреннее уплотнение массивов горных пород (снижение пластовых давлений, изменение гидродинамического режима подземных вод, проникновение загрязняющих веществ в нижележащие горизонты). Это, как считают авторы цитируемой статьи, является результатом изъятия флюидов – жидких и газообразных легкоподвижных компонентов и насыщенных газами растворов.

По мнению [33, 34], наибольшую экологическую опасность на разведочном этапе, особенно для таежных экосистем, представляют два технологических процесса – сейсмологическая разведка и строительство (бурение) геологических скважин различного назначения (табл. 10).

Таблица 10

Виды, источники и последствия техногенного воздействия на почвенный покров при сейсморазведке [33]

Источники воздействия и виды работ	Вид воздействия		Экологические последствия
	механическое нарушение	химическое загрязнение	
Передвижение техники	Незначительное	Незначительное	Практически отсутствуют
Взрывные работы	Незначительное	Незначительное	Практически отсутствуют
Базовый лагерь	Незначительное	Значительное при: - размещении и захоронении производственных и бытовых отходов; - утечке ГСМ во время работы электрогенератора (ДЭС), заправке техники топливом, в местах стоянки техники; - сбросе хозяйственных сточных вод	Загрязнение почвенного покрова и грунтовых вод нефтепродуктами, тяжелыми металлами, биологическое загрязнение

В настоящее время свыше 75% объемов геофизических исследований при поисках нефти и газа составляют сейсмические работы [33]. Сейсморазведка предваряет освоение территории и является обязательным методом поиска и локализации месторождений нефти и газа. Упрощенно она представляет собой взрывные работы, проводимые в зимнее время. Основные технологические операции при этом: рубка леса, транспортные, топографо-геодезические, буровзрывные и геофизические. Сейсморазведочные исследования, как правило, осуществляются в два этапа: 1) подготовительный этап в летне-осенний период, включающий рубку 4-метровых просек, 1-метровых визиров и топографо-геодезические работы (разбивка и привяз-

ка пунктов и профилей); 2) производственный этап в зимний период, включающий прокладку бульдозерной техникой профилей, не вырубленных в летне-осенний период, непосредственно сейсморазведочные исследования с применением специального оборудования и, соответственно, перезеды транспортных средств по профилям, а также буровзрывные работы. При производстве сейсмологических работ также обустроиваются базы для постоянного проживания персонала. Вся территория базового лагеря делится на жилую зону, склад производственных материалов, склад ГСМ и место стоянки автотракторной техники. Иногда оборудуется вертолетная площадка. На стоянке обычно размещаются жилые балки, кухня и баня (в целом от 10 до 14 строений), вездеходная техника. Анализ различных ведомственных инструкций (с учетом гидрогеологических особенностей территории и особенностей проходки) показал, что сейсморазведочные скважины подразделяются на 4 типа [33]: 1) не вскрывшие водоносных горизонтов; 2) вскрывшие один или несколько водоносных пластов с ненапорными или слабонапорными водами, близкими по минерализации и химическому составу; 3) вскрывшие напорные водоносные пласты (фонтанирующие); 4) вскрывшие водоносные горизонты (пласты) с различной минерализацией и составом воды.

Главное воздействие на атмосферу при сейсморазведочных работах проявляется в загрязнении воздуха выбросами поллютантов из стационарных (печи, электростанции, склады и места заправки ГСМ, электросварочные посты в полевых лагерях сейсморазведочных партий) и передвижных (автотранспорт, гусеничный транспорт, буровое оборудование, бензопилы) источников [31, 33]. Основную долю в загрязнение атмосферы вносят передвижные источники, которые в процессе полевых работ рассредоточены и значительно удалены друг от друга. Типичными поллютантами являются оксиды азота, оксид углерода и углеводороды, на долю которых приходится более 80% всех выбросов. В качестве примера приводится перечень и расчетные объемы выбросов загрязняющих веществ при 3D МОГТ (метод общей глубинной точки) сейсморазведке на Северо-Губкинском и Присклоновом лицензионных участках (табл. 11).

Воздействия на поверхностные воды при проведении полевых сейсморазведочных исследований сводятся к нарушению рельефа и естественного стока на территории проведения работ, загрязнению ГСМ в случае их утечек, проливов и/или разливов (в т. ч. аварийных), возможному загрязнению поверхностных вод при пересечении водных преград, к захламлению территории отходами производства и потребления, загрязнению сточными водами [31]. Воздействие на геологическую среду при нарушении почвенно-растительного слоя при проезде по профилям тяжелой спецтехники может привести к активизации эоловых и эрозийных процессов, например, к образованию новых форм микрорельефа (глубокие колеи, воронки, проседания). Загрязнение грунтов и подземных вод возможно при хранении ГСМ и заправке техники. Типовые отходы при проведении сейсморазведочных работ в основном относятся к отходам 4–5 класса опасности. При проведении сейсморазведочных работ на море источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух являются двигатели морских судов, дизель-генераторы. Часто суда, используемые для проведения работ, оборудованы инсинераторами для сжигания отходов. Воздействие на морские воды связано со сбросами сточных вод.

**Объемы выбросов основных загрязняющих веществ
при сейсмозаземке МОГТ по схеме 3Д [33]**

Вещество	Кол-во на 100 км ² , т *	Доля в общем объеме, %
Оксиды азота	5,20	37,07
Диоксид серы	0,50	3,56
Оксид углерода	5,98	42,58
Углеводороды	0,09	0,70
Керосин	1,46	10,40
Формальдегид	0,05	0,41
Летучая зола	0,14	1,03
Сажа	0,57	4,10
Прочие	0,02	0,15
Итого	14,04	100

* Округлено до второго знака после запятой.

Необходимо отметить, что за последние годы средние запасы новых месторождений нефти уменьшились в 4–5 раз, доля крупных месторождений среди вновь открываемых – с 15 до 10–8%, также ухудшаются коллекторские свойства продуктивных горизонтов и качественный состав насыщающих их флюидов [19]. Существенно осложнились геологические условия на объектах проведения поисковых и разведочных работ. В большинстве регионов ресурсы нефти и газа до глубины 2,5–3,0 км уже разведаны и многие из них давно эксплуатируются. Высокая выработанность запасов нефти – неизбежное следствие обводненности углеводородной продукции и снижения дебитов скважин. Прогнозируется, что через 5–10 лет аналогичные проблемы будут и в газовой промышленности.

Основными процессами строительства геологических скважин являются бурение и крепление [6]. Бурение скважин – это процесс сооружения направленной горной выработки большой длины и малого (по сравнению с длиной) диаметра. Начало скважины на поверхности земли называют устьем, дно – забоем. Общая схема буровой установки показана на рис. 4. По продолжительности строительство и испытание одной разведочной скважины может занимать от нескольких месяцев до 1–1,5 лет (в зависимости от геологических и климатических условий) [31]. Учитывая относительно небольшие сроки выполнения разведочного бурения, буровые площадки обычно характеризуются средним уровнем воздействия на окружающую среду [40].

В настоящее время свыше 90% всего объема бурения глубоких скважин падает на направленное (в том числе кустовое) бурение наклонными, горизонтальными, разветвленно-горизонтальными и другими скважинами. Глубина скважин по вертикали составляет 1590–4041 м, длина ствола – 7450–11184 м, отклонение от вертикали – 6618–10585 м [19]. Особенно успешно развивается горизонтальное бурение, которое является наиболее эффективным методом формирования оптимальной системы разработки, а также восстановления продуктивности месторождений, находящихся на поздней стадии эксплуатации. Количество скважин в районах проведения геолого-разведочных работ может быть очень велико. Например, в 2008 г. на балансе нефтегазодобывающих компаний ХМАО – Югры находилось 9307 разведочных скважин [33].

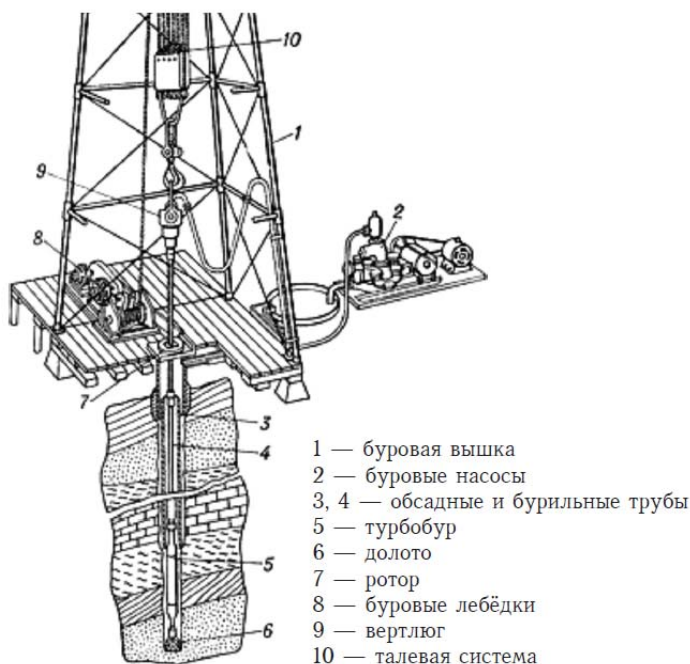


Рисунок 4. Общая схема буровой установки [6].

При подготовке буровых площадок поисковых и разведочных скважин, выполнении работ, связанных с планировкой территории, строительством шламовых амбаров и др., происходит уничтожение растительности. В приустьевой зоне скважины наблюдается максимальное повреждение почвенного покрова за счет удаления гумусового горизонта, уплотнения, перемешивания, загрязнения буровыми растворами, нефтью и ГСМ.

Загрязнение атмосферы при строительстве скважины происходит на следующих этапах: вышккомонтажные работы, подготовительные работы к бурению, бурение и крепление скважины, испытание скважины. Основными источниками загрязнения атмосферы на площадке буровой являются: котельная, передвижная электростанция, выхлопные трубы дизельной электростанции, двигатели дизельной установки, дымовые трубы котельной, дыхательные устройства резервуаров, предназначенных для приема, хранения и отпуска нефтепродуктов, устьевое оборудование [33]. Продукты испытания скважин (нефть) используются в качестве топлива котельной. Этап геологоразведочных работ характеризуется более высоким, по сравнению с сейсморазведкой, уровнем загрязнения атмосферы. Тем не менее загрязнение атмосферы на границе санитарно-защитной зоны скважины (500 м) по всем веществам и группам суммаций, рассчитанное для площадки буровой, обычно не превышает установленных нормативов.

Как правило, в пределах буровой площадки около половины (56%) общего объема отходов составляют буровые сточные воды, 28% приходится на отра-

ботанную промывающую жидкость, в остальные 16% входят раствор для испытания и удаленная порода [3]. За цикл использования воды в технологическом процессе содержание нефтепродуктов в буровом растворе сточных вод может увеличиться в 260–760 раз, взвешенных веществ – в 146–400 раз, органических веществ – в 348–652 раз, уровни водорастворимых солей и другие показатели также увеличиваются достаточно существенно [32].

Почвенный покров при строительстве буровой вышки и привышечных сооружений нарушается, прежде всего, в результате расчистки и планировки площадок, прокладки траншей для циркуляционных систем и создания земляных амбаров [33]. Химическое загрязнение почвенного покрова происходит при отсутствии системы сброса и накопления отходов бурения, надежной изоляции дна и стенок накопителей отходов бурения, разрушении конструкции накопителя; при отсутствии системы сбора загрязненных талых и ливневых вод; при разгерметизации системы циркуляции промывочных и других жидкостей, порывов трубопроводов, емкости с ГСМ; при аварийных ситуациях в процессе строительства скважины, связанных с выбросом флюидов; в процессе погрузки, транспортировки, выгрузки и хранения химических реагентов и материалов, используемых для приготовления буровых и цементных растворов; пластовыми флюидами в результате перетоков флюидов в случаях ненадежной конструкции скважины, некачественного цементирования колонн, негерметичности обсадных колонн. Кроме того, может наблюдаться биологическое загрязнение почвенного покрова патогенными микроорганизмами при недостаточной стерилизации санузлов и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Следует отметить, что в стремлении сократить период строительства скважины геологоразведочные предприятия внедряли так называемое «безамбарное» бурение, когда котлован копался только под шлам, а буровой раствор готовился в специальной емкости и после использования очищался от шлама на специальных установках для повторного применения, сточные воды собирались в отдельной емкости, где осветлялись химическими коагулянтами [33]. Осадок захоранивался в шламовом амбаре. Очищенные воды использовались в технологическом процессе и частью сбрасывались на рельеф. Такая технология резко уменьшала загрязнение почв и грунтовых вод отходами бурения, но не получила должного распространения при бурении поисковых и разведочных скважин, удаленных от транспортных коммуникаций. Кроме того, возникали проблемы с восстановлением технологических параметров использованного бурового раствора.

Особую опасность при проведении буровых работ и строительстве скважин представляет загрязнение территории буровым раствором, химическими реагентами, буровыми отходами, продукцией скважин [33]. Буровой раствор используется для обеспечения стабильного бурения скважин в условиях высокого давления. Он представляет собой глинистую массу серого цвета без запаха, в состав которой входят вода, бентонитовый глинопоророшок, ГКЖ-10, кальцинированная сода, КМЦ-700, НГФ и графит. Данные по количеству реагентов и объему бурового раствора при бурении одной геологоразведочной скважины приведены в табл. 12.

**Количество материалов и химических реагентов для одной скважины
с глубиной бурения 2900 м [33]**

Материалы и реагенты	Количество
ПЦТ-ДО-50, т	54,0
ПЦТ-Д20-100, т	38,0
Глинопорошок, т	3,0
Сульфанол, т	0,2
Хлористый кальций, т	0,7
НТФ, т	0,9
Вода, м ³	73,0
Буровые растворы, м ³	62,0
Бентонитовый глинопорошок, т	43,0
ГКЖ-10, т	2,0
Кальцинированная сода, т	0,1
КМЦ-700, т	3,0
Графит серебристый, т	5,0

По мнению [33], первым по значимости фактором негативных экологических последствий (при бурении скважин) является фактор аварийности, проявляющий себя как при строительстве глубоких геологоразведочных скважин, так и после их ликвидации или консервации. Второй фактор – загрязнение почвы горюче-смазочными материалами, отмеченное автором цитируемой работы на каждой второй обследованной им площадке. Было также установлено, что негативное воздействие объектов разведочного этапа сказывается и после завершения поисковых работ. Особым и чрезвычайно существенным негативным фактором является аварийность вследствие нарушения технологии вскрытия или испытания нефтяных пластов при строительстве глубоких геологоразведочных скважин [34]. Так, обследование 52 разведок в Нефтеюганском районе показало, что 21 разведочная площадка загрязнена нефтесодержащими продуктами непосредственно в приустьевой зоне, а шламовые (буровые) амбары содержат нефть. Вследствие длительного простоя и отсутствия технического обслуживания скважины разрушаются, что приводит к нарушению герметичности и нефтегазоводяным проявлениям на устье (17 скважин).

Исследования, выполненные на площадках разведочного бурения в таежной зоне Тюменской области, показали, что по сравнению с зональными подзолистыми почвами в их техногенно-измененных модификациях отмечается резкое увеличение содержания водорастворимых солей [14, 15, 17, 27]. Это приводит к формированию в измененных горизонтах почв щелочной среды (рН 8,8), которая вниз по профилю изменяется до кислой; заметно повышается величина емкости поглощения (до 24,33 мг-экв/100 г почвы, вниз по профилю она снижается). Для техногенно-измененных горизонтов почв отмечается низкое содержание гумуса (табл. 13). В техногенно-измененных почвах обычно наблюдается регрессивно-аккумулятивный тип распределения металлов по профилю: накопление в верхнем гумусовом (органогенном) горизонте и резкое понижение их содержания в нижних горизонтах. Наиболее интенсивно в верхнем горизонте почв концентрируются Cu, Zn, Pb (коэффициент радиальной дифференциации $K_{ра} > 6$) и Ni, Cr, Hg, Fe ($K_{ра} = 3$). Это свидетельствует о техногенном обогащении почвенной толщи указанными металлами, причем их поступление не связано с аэротехногенным переносом, что подтверждается отсутствием накопления поллютантов в лишайниках (род *Cladina*), имеющих преимущественно атмосферное питание.

Химический состав почв в зоне влияния буровых работ (северная тайга) [15]

Почва	Горизонт	Глубина, см	Сорг, %	pH (водн.)	Емкость поглощения, мг-экв. на 100 г	P ₂ O ₅ , мг на 100 г почвы	K ₂ O, мг на 100 г почвы
Почва П _{Тех.}	A ₀	0-1	1,08	7,4	19,41	-	-
	Tex 1	1-6	0,64	8,8	24,33	10,5	18,9
	Tex 2	6-11	0,72	4,8	13,69	-	-
	A _{0пг.}	11-14	1,60	4,1	15,54	4,2	5,8
	A _{0г.}	14-20	0,03	4,1	10,86	-	-
	B	20-29	0,05	4,3	12,09	3,5	6,6
	BC	29-54	-	5,5	12,61	-	-
Фон	A/A ₁	0-8	69,51*	4,5	-	0,5	1,9

Окончание табл. 13

Почва	Горизонт	Глубина, см	мг/кг (1 N HNO ₃ -вытяжка)							
			Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Fe	Hg	
Почва П _{Тех.}	A ₀	0-1	22,5	21,8	26,6	3,0	2,7	3000	0,02	
	Tex 1	1-6	14,3	40,9	8,2	10,0	6,6	8900	<0,01	
	Tex 2	6-11	1,4	4,8	2,7	1,5	4,7	3700	0,01	
	A _{0пг.}	11-14	1,5	5,1	4,1	1,8	3,3	3320	-	
	A ₂	14-20	1,3	3,4	3,0	1,3	3,7	3666	-	
	B	20-29	2,3	3,6	3,3	1,1	2,5	3340	-	
	C	29-54	3,4	6,2	2,0	3,3	2,4	1920	-	
Фон	A/A ₁	0-8	4,0	25,0	6,5	7,0	1,6	-		

* Потери при прокаливании, %.

Обычно в почвах таежной зоны Тюменской области в результате воздействия разведочного бурения формируются геохимические аномалии с относительно невысокой интенсивностью концентрирования металлов (K_c 1,5–10), пространственное распределение которых зависит от степени механического нарушения органического горизонта почв. Там, где последний удален, уровни металлов ниже, чем в почвах с сохранившимся горизонтом. Это обусловлено изменением кислотности среды, которая из-за удаления органики изменяется в сторону щелочной. При одинаковой интенсивности и равной продолжительности воздействия разведочного бурения в различных природных зонах ответная реакция окружающей среды в целом остается в сущности одной и той же. В органогенном горизонте почв накапливаются Hg, Zn, Pb, глинистыми частицами сорбируются Ba, Cr, Sr. Чрезвычайно интенсивного накопления химических элементов в почвах, за редким исключением, не происходит. В пределах Полуньяхского месторождения в почвах буровых площадок концентрируются Hg (K_c 4,7), Pb (4), Ni, Cr, Mn (2,7), Ba, Fe (1,7), Ендырского – Cu (16), Ni (9), Zn (5), Hg (6), Cr (2,3), сульфаты (13), хлориды (2), нефтепродукты; Хохловского – Zn (9), Fe (6), Ba, Ni, Mn (3), нитраты (15), хлориды (6), сульфаты (5), нефтепродукты (3). Техногенное загрязнение обычно локализовано вблизи разведочных скважин. Таким образом, воздействие разведочного бурения обуславливает формирование в почвах техногенных аномалий Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, сульфатов и хлоридов, интенсивность концентрирования (обычно незначительная) и пространственное распределение которых зависят от степени механического нарушения органического горизонта почв.

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что наиболее устойчивые зоны нефтяного загрязнения в почвах образуются в результате подтекания устьев ликвидированных разведочных скважин (табл. 14). По данным [28], почвы вблизи разведочных скважин обогащены Ba, что обусловлено загрязнением буровыми растворами. В поверхностных горизонтах почв вблизи скважин и дорог отмечены повышенные уровни свинца (до 50 мг/кг). Расчет показателя суммарного загрязнения почв свидетельствует о среднем и сильном загрязнении тяжелыми металлами ($Z_c=17-36$) вблизи старых разведочных скважин. Заметное техногенное воздействие отмечается также в районах буровых амбаров (мест складирования отходов бурения скважин), которое формируется уже на стадии разведочного бурения.

Таблица 14

Нефтепродукты в почвах в зоне влияния разведочных скважин [34]

Объект	Нефтепродукты, мг/кг
Подтекающая разведочная скважина, около устья	5000 – 150000
Разведочная скважина, место склада ГСМ	10000 – 30000

Примечание. Результаты проведенных автором [Соромотин, 2011] вегетационных опытов по оценке влияния нефти на прорастание семян и развитие проростков растений показали, что «безопасный» уровень загрязнения почв нефтью составляет для всходов хвойных пород – 10000 мг/кг, для травянистых растений – 50000 мг/кг. Наиболее токсичны фракции нефти, входящие в состав дизельного топлива.

В общем случае в северных районах Тюменской области геологоразведочные работы на нефть и газ сопровождаются заметным механическим воздействием на земную поверхность, уничтожением растительного покрова транспортом (здесь широко развита хаотическая сеть неглубоких, до 20–30 см, дорожных колеи, играющих роль искусственной дренажной сети), а также приводят к незначительному (в региональном масштабе) поступлению углеводородов на рельеф и к увеличению потенциальных источников возникновения пожаров [16, 18]. В конечном счете площадные техногенные воздействия разрушают естественную ландшафтную обстановку и усиливают развитие криогенных геологических процессов. В центральных районах области геологоразведочные работы обуславливают сведение лесов (вырубки и пожары), разрушение или даже полное удаление почвенно-растительного слоя. Важно отметить, что техногенно деградированные тундровые почвы Западной Сибири отличаются чрезвычайно слабой способностью к самовосстановлению. Так, в период с 1965 по 1990 г. из-за деградации почв и ландшафтов тундры и лесотундры площадь оленьих пастбищ сократилась на 70600000 га. Для зоны тундры характерны наличие многолетне-мерзлых грунтов и высокий коэффициент стока, достигающий 0,7–0,8. Обычно в естественных условиях эрозия почв здесь проявляется слабо, поскольку большая часть стока воды, обусловленного снеготаянием, приходится на период, когда почвы находятся еще в мерзлом состоянии. Естественный растительный покров (мхи и лишайники) относительно хорошо защищает поверхность почвы от воздействия неруслового стока. Как правило, на нарушенных территориях смыв почвы практически отсутствует. Однако достаточно даже незначительного нарушения дернового покрова, чтобы эрозийный процесс стал катастрофическим. Этому способствуют также термокарстовые процессы, часто инициированные деятельностью человека. Скорость роста оврагов в тундре достигает 25 м/год, а интенсивность смыва на участках с нарушенным почвенным покровом – 50 т/га. Ветровая эрозия носит очаговый характер и проявляется в основном на песках. В центральных районах области ее интенсификации способствует вырубка лесов. Довольно часто при поисково-оценочных работах происходит сброс высокоминерализованных пластовых вод и рассолов (с минерализацией более 200 г/л) вкупе с другими сточными водами, содержащими в повышенных концентрациях широкий спектр химических элементов, в отстойники или прямо на рельеф, что для условий Западной Сибири особенно опасно, поскольку поверхностные водные объекты здесь обладают чрезвычайно низкой способностью к самоочищению.

Все отмеченные выше явления типичны и для начального этапа строительства нефтегазодобывающих объектов (связанного главным образом с бурением скважин и обустройством территорий), но проявляются еще интенсивнее и разнообразнее [16, 18]. В свое время в Тюменской области земельные отводы под скважины глубокого разведочного бурения на нефть и газ были установлены в размере 3–4 га на одну скважину. Однако фактически размеры нарушенных земель составляют от 10–12 до 22 га. Значительные площади приходится на подъездные пути, особенно в районах нового освоения и на севере области. На 1 м бурения нефтегазоразведочной скважины по нормативам расходуется до 6 м³ воды, из которых 5 м³ составляют безвозвратные потери. На строительных площадках и в районе подъездных

дорог происходит уплотнение почвы, уничтожается (снимается) их торфянистый горизонт, что ухудшает аэрацию и уменьшает содержание гумуса в почве. В большинстве случаев причины загрязнения при строительстве скважин обусловлены несовершенством используемой при этом технологии, несоблюдением технологического регламента, а также эксплуатационной ненадежностью оборудования и конструкций. Потенциальными источниками загрязнения окружающей среды при строительстве скважин и начальном обустройстве промыслов являются буровые и тампонажные растворы, буровые сточные воды и шлам, пластовые и минерализованные воды, продукты испытания скважин, материалы для приготовления, утяжеления и обработки буровых и тампонажных растворов, горюче-смазочные материалы, хозяйственно-бытовые сточные воды и твердые бытовые отходы, загрязненные ливневые сточные воды, диффузная миграция газа, продукты сгорания топлива. При бурении скважин используются различные типы буровых растворов, которые включают достаточно широкий спектр токсичных веществ, в том числе бентонитовую глину, сырую нефть, бариты, соединения натрия, кальцинированную соду, метанол, синтетические органические полимеры (табл. 15). На целый ряд индивидуальных химических веществ, применяемых в бурении, величины ПДК для компонентов природной среды (за исключением атмосферного воздуха) строго не лимитируются. Для предотвращения попадания поллютантов в окружающую среду предусматривается обязательная гидронизоляция котлованов-отстойников, что, однако, зачастую не делается и надежная гидронизоляция не обеспечивается, а буровые отходы свободно поступают в грунтовые воды. Иногда в зоне распространения мерзлых пород буровые растворы разливаются непосредственно на поверхности почвы, при этом образуется плотная кора, состоящая главным образом из баритового порошка, под которой оказывается погребенной вся растительность.

Таблица 15

Химические добавки в буровых растворах [5]

Компонент	Максимальное содержание, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³ *	Кратность превышения
Нитролигнин	10000	60,0	167
Карбоксиметилцеллюлоза	30000	20,0	1500
Барит	60000	50,0	1200
Гидроксид кальция	10000	50,0	1200
Хромпик	2000	0,1	20000
Полифенол	10000	7,0	1428
Углекислотный реагент	30000	1000	30
Нефть	150000	0,05	3000000
Взвешенные вещества	2000000	800–1250	250

* В воде рыбохозяйственных водоемов.

При бурении скважин в поверхностные и грунтовые воды в большом количестве поступают буровые сточные воды, отработанные буровые рас-

творы, нефтепродукты. Загрязнение недр и подземных вод происходит путем фильтрации нефти и минерализованных вод из земляных отстойников (амбаров), из обвалования нефтяных и нагнетательных скважин, через прорыв кондуктора эксплуатационной колонны, а также в результате перетоков по затрубному пространству в случае некачественного цементирования и негерметичности обсадных колонн. При прорывах высокоминерализованных пластовых вод происходит засоление земель с образованием выцветов соли. Для увеличения скорости бурения и снижения расхода долот в буровые растворы вводят нефть, большая часть которой выносится на поверхность вместе со шламом и буровым раствором и накапливается в амбарах. Амбары являются одним из серьезных источников загрязнения почв и поверхностных водных объектов. Например, в 1990 г. масса нефти, аккумулярованной в амбарах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, превышала 300 тыс. т [16, 18].

Известно, что по составу воды нефтяных и газовых месторождений обычно хлоридные натриевые или кальциево-натриевые, характеризуются высокими концентрациями брома, бора, бария, йода, калия, железа, аммонийного азота и многих микроэлементов. Минерализация их колеблется в широких пределах – от пресных вод до (очень часто) весьма крепких рассолов (10–300 г/л). Состав растворенных в них газов метановый, азотно-метановый, реже метаново-углекислый и углекислый, присутствует сероводород. Для разреза многих месторождений характерна нормальная гидрогеологическая зональность, которая довольно часто нарушается в нижних горизонтах осадочного чехла на больших глубинах (наблюдается снижение минерализации, изменение солевого и газового состава). В мировой практике известны случаи использования остаточных вод из скважин по добыче газа для орошения сельскохозяйственных угодий, что приводило к загрязнению почв и агропродукции многими макро- и микроэлементами, концентрации которых в скважинных водах многократно превышают типичные глобальные уровни в поверхностных водах (табл. 16).

С экологической точки зрения серьезную проблему представляют выбуриваемые породы. Например, при средней глубине скважин 2500 м на поверхность извлекается 350 м³ грунта, а при глубине 5000 м – 800 м³. Эти породы, обычно складированные в виде отвалов вблизи буровой, сильно загрязнены буровыми растворами и нефтепродуктами, что не исключает поступления поллютантов в окружающую среду. В районах бурения скважин происходит относительно сильное воздействие на почвенный покров, что сопровождается потерей гумуса, ухудшением их водно-физических, химических, ионно-обменных свойств почв, их биологической активности, происходит засоление, подщелачивание и, как следствие, резкое снижение естественного плодородия и изменения ландшафта в целом. Существенного загрязнения почв углеводородами и канцерогенными веществами вблизи газовых скважин не происходит, в отличие от описанных в литературе случаев нефтяных разливов. Это, очевидно, связано с небольшими масштабами загрязнения почв нефтью при бурении газовых скважин. В то же время на фоне относительно слабого загрязнения почв нефтяными углеводородами встречаются локальные участки, отличающиеся повышенными количествами бенз(а)пирена (особенно вблизи скважин) [16, 18].

Таблица 16

Химические элементы в воде из скважины по добыче газа [49]

г/л		мг/л												
Ca	Mg	Na	K	Fe	P	Mn	Cu	Zn	Ni	Mo	Cd	Cr	Va	Pb
Вода из скважины по добыче газа														
283	13,9	12,6	18,3	32,4	838	414	40,8	124	23,3	0,92	1,94	58,1	944	25,9
Среднее в воде рек мира [10]														
0,0139	0,0033	0,0063	0,0023	0,0004	0,04	0,01	0,007	0,02	0,0025	0,001	0,0002	0,001	0,04	0,001

Таблица 17

Выбросы некоторых соединений двигателями, г/лошадиная сила/час [48]

Тип двигателя	Оксид углерода	Углеводороды	Оксиды азота
С искровым зажиганием, работающий на бензине То же, работающий на сжиженном газе Дизельный двигатель с непосредственным впрыском	28	2	16
	26	3	13
	3,6	2,2	8,6
Дизельный предкамерный двигатель Паровой двигатель Газовая турбина	1,7	0,2	5,8
	4,2	0,25	3,0
	4,4	0,9	2,0

Основными источниками загрязнения атмосферы при начальном обустройстве нефтегазовых промыслов являются строительная техника и автотранспорт, передвижные генераторы, сварочные и покрасочные работы [16, 18]. В атмосферный воздух также поступают газы, выделяемые при бурении и опробовании скважин. Количество выхлопных газов от двигателя силового дизельного привода при бурении глубоких скважин составляет 2–3 м³/с и более, т. е. 260000 м³ в сутки. В составе этих газов присутствуют оксид углерода (0,5%), альдегиды (до 0,008%), бенз(а)пирен (до 10 мг/м³) и другие соединения (табл. 17). Анализ химического состава талой снеговой воды, отобранной после сезона работы буровой установки, показал, что по сравнению с фоном в пробах появились оксиды азота, кадмий, свинец, повысилось содержание цинка и взвешенных веществ. Радиус воздействия одной буровой на атмосферный воздух, почву и растительность прослеживается более чем на 2 км. Необходимо отметить, что, как правило, уровень так называемого фонового загрязнения атмосферы в районах газовых месторождений севера Тюменской области уже на начальной стадии развития промысла превышает типичные природные содержания NO₂, CO, CH₄ и составляет 0,1–0,2 нормативных значений концентраций этих веществ для населенных пунктов. Данный факт, безусловно, следует учитывать при проведении предпроектных оценок экологического состояния таких территорий.

Разведка месторождений и обустройство промыслов, особенно в труднодоступных районах Тюменской области, требует строительства поселков для вахтовых смен, баз транспортных средств, складов оборудования и материалов, мастерских по ремонту техники и т. д. [16, 18]. Это также сопровождается негативными преобразованиями природных ландшафтов, в том числе геохимическими. Исследования, проведенные на территориях вахтовых поселков (Бованенковское и Новопортовское месторождения), показали, что при удалении поверхностного торфяного горизонта происходит и удаление присутствующих в нем в относительно повышенных количествах элементов биологического накопления – P, Zn и Mn. Напротив, технофильные элементы (Pb, Cu) имеют в почвах повышенные содержания, обычно превышающие естественный фон в 1,4–1,7 раза. Кроме того, происходит выделение большого количества соединений азота, что приводит к евтрофированию водоемов. Довольно часто в абсолютном выражении показатели техногенного загрязнения невысоки, тем не менее строительство вахтовых поселков в условиях неустойчивых природных комплексов (например, кустарничково-лишайниковых тундр) приводит к их деградации вследствие даже относительно невысокой дополнительной химической нагрузки. Следует отметить, что во многих городах и поселках нефтегазовых районов Тюменской области достаточно широко развиты искусственные (преимущественно песчаные) почвогрунты (следствие планировки местности), обычно характеризующиеся уровнями содержания многих химических элементов ниже их кларка (или средних глобальных параметров распределения в почвах мира) и ниже средних уровней в окружающих природных почвах, что создает определенные трудности при оценках степени техногенного воздействия в пределах урбанизированных территорий.

Сложный комплекс геолого-геофизических, инженерно-геологических и экологических исследований, включая бурение и опробование скважин, представляют собой морские геологоразведочные работы на нефть и газ.

Бурение разведочных скважин на море с помощью буровых судов (БС), полупогружных (ППБУ) или самоподъемных буровых установок (СПБУ) сопровождается выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух,

сбросами сточных вод, образованием отходов, воздействием на морскую биоту [31]. Особенное внимание уделяется сбору и вывозу отходов, в том числе и отходов бурения. В частности, в Северном Каспии подобные работы такие работы выполняются в сложных природных и геологических условиях, имеют жесткие экологические ограничения, обусловленные непосредственной близостью особо охраняемых природных территорий, наличием ценных биоресурсов. Здесь, согласно [Алексеев, 2009], основные виды и характер воздействия морских геологоразведочных работ на окружающую среду сводятся к следующему (табл. 18).

Таблица 18

Виды и характер воздействия на окружающую среду морских геологоразведочных работ на нефть и газ, по [2] с дополнениями

Виды воздействия	Характер воздействия
Возбуждение упругих колебаний в морской среде	Кратковременное шумовое воздействие, вызывающее беспокойство и отпугивающий эффект для фауны
Выбросы в атмосферу от дизельных двигателей судов и буровой установки	Загрязнение атмосферы оксидами азота, оксидом углерода, диоксидом серы
Воздействие на поверхность донных отложений при установке буровой платформы	Кратковременное увеличение мутности морской воды. Локальное изменение рельефа морского дна. Поступление химических веществ из иловых вод в придонный слой.
Нарушение целостности недр при бурении и испытании скважины	Возможны межпластовые перетоки, выбросы нефти и газа. Возможно загрязнение морской среды нефтепродуктами. Возможно загрязнение подземных вод химическими реагентами, применяемыми при бурении скважин. Возможны утечки и проливы горюче-смазочных материалов, буровых, тампонажных и других растворов.
Образование отходов производства и потребления (буровые отходы, отработанные масла, сточные воды, лом черных и цветных металлов и др.)	При соблюдении норм и правил по сбору, хранению, вывозу, обезвреживанию и утилизации
Забор и сброс морской воды, используемой для охлаждения бурового оборудования	Тепловое загрязнение (локальное увеличение температуры морской воды). Воздействие на морских гидробионтов.

Результаты мониторинга качества морских вод на региональном (акватория лицензионного участка) и локальном (акватория, непосредственно окружающая буровую платформу) уровнях свидетельствуют о том, что распределение гидрохимических параметров и содержание загрязняющих веществ соответствуют многолетней динамике изменения гидрохимических показателей северного и центрального районов Каспийского моря (табл. 19). Содержания нефтепродуктов, хлорорганических пестицидов, органического вещества, полициклических ароматических углеводородов, синтетических поверхностно-активных веществ и фенолов в осадках Центрально-Каспийского лицензионного участка незначительные и донные отложения на исследуемой площади можно отнести к категории «чистых».

Химические элементы и соединения в морской воде в районе проведения буровых работ, металлы в мкг/л, остальные – мг/л [2]

Компонент	Горизонт	Полигон локальный		Полигон региональный	
		Среднее	Интервал	Среднее	Интервал
Нефтяные углеводороды	0	0,05	0,02–0,08	0,07	0,00–0,09
	Дно	0,05	0,02–0,08	0,06	0,02–0,08
Фенолы	0	0,002	0,001–0,003	0,002	0,001–0,003
	Дно	0,001	0,001–0,002	0,002	0,002–0,004
СПАВ	0	0,11	0,08–0,14	0,11	0,09–0,14
	Дно	0,13	0,10–0,15	0,12	0,08–0,15
Железо	0	7	0–20	9	0–50
	Дно	4	0–10	6	0–50
Цинк	0	2	1–4	3	1–7
	Дно	2	1–5	2	1–5
Никель	0	4	2–9	4	1–9
	Дно	5	2–9	5	2–9
Медь	0	0	0–1	0	0–1
	Дно	0	0–1	1	0–1
Свинец	0	1	0–1	1	0–2
	Дно	1	0–2	0	0–1
Марганец	0	4	0–10	3	0–6
	Дно	11	1–55	7	0–54

Таким образом, имеющиеся данные свидетельствуют о том, что уже на стадии геологоразведочных (особенно буровых) работ на нефть и газ происходит относительно интенсивное загрязнение окружающей среды органическими соединениями, а также некоторыми химическими элементами, в том числе тяжелыми металлами. Еще более интенсивность техногенного воздействия на природную среду возрастает на следующем этапе освоения нефтегазовых месторождений – собственно при добыче углеводородного сырья и подготовке его к транспортировке.

Заключение

Техногенное воздействие на окружающую среду в той или иной степени проявляется на всех стадиях геологоразведочного процесса, начиная с регионального изучения недр и заканчивая разведкой месторождений. Оно во многом определяется содержанием и видами работ, выполняемых на том или ином этапе, на той или иной стадии геологоразведки. Основные последствия указанных работ проявляются, прежде всего, в механическом нарушении геологической среды и природных ландшафтов, в меньшей степени в геохимическом преобразовании различных компонентов и окружающей среды в целом (загрязнение окружающей среды), определенными нарушениями геофизических полей и негативными воздействиями на живую природу.

Геологоразведочные работы практически всегда сопровождаются механическими нарушениями недр, земной поверхности, почвенно-растительного покрова и водных объектов (вырубка деревьев, бурение скважин, проходка открытых и подземных горно-разведочных выработок, создание отвалов и времен-

ных отхоохранилищ, перевозка буровых вышек без разборки, бездорожное передвижение транспортных и технологических колесных и гусеничных машин, строительство объектов вспомогательного производства, вахтовых и стационарных поселков и т. д.). Сооружение дорог, протяженность которых для одной геологоразведочной партии измеряется десятками и даже сотнями километров, сопровождается негативными изменениями участков земной поверхности, вырубкой леса, уничтожением травяного покрова и кустарников, нарушением гумусового слоя и т. п.

Площади техногенных нарушений при создании подземных поисково-разведочных выработок обычно незначительны. В основном они представлены промплощадками с размещенными на них временными сооружениями, отвалами пустых пород, подъездными путями. Проходка подземных выработок приводит к выведению на поверхность горных пород, обогащенных химическими элементами (входящих в состав руд, первичных и вторичных геохимических ореолов), что предопределяет формирование техногенных геохимических аномалий, обычно слабой интенсивности и незначительной площади. Проходка поверхностных горных выработок обуславливает более существенной нарушение поверхности, почвенно-растительного слоя, загрязнение почв и водных объектов. Поисково-съемочные работы сопровождаются проходкой легких горных выработок и бурением отдельных скважин, захлаплением территории производственными и бытовыми отходами, порубочными остатками (на лесных площадях), уничтожением растительности, иногда лесными пожарами. При осуществлении разведочных работ воздействие на окружающую среду усиливается, а экологические нарушения нередко становятся необратимыми. В отдельных случаях площади механически нарушенных земель могут составлять до 20% обследуемой территории и достигать десятков гектаров.

Наибольшее загрязнение окружающей среды при геологоразведочных работах происходит в процессе строительства (бурения) различных скважин. Потенциальными источниками загрязнения среды при выполнении буровых работ являются буровые установки, промывочные жидкости, тампонажные композиции, глиностанции, дизельные электроагрегаты, производственные отходы и т. д. При бурении происходит загрязнение почв, подземных вод и поверхностных водных объектов отводимыми водами и отработанным буровым раствором, который содержит воду, глинопорошок, барит, соль, каустическую соду и другие вещества. При межпластовых перетоках и при бесконтрольном поступлении на поверхность высокоминерализованные подземные воды могут вызывать засоление почвы. Буровые установки, на которых в дизель-генераторах и силовых приводах используются дизельное топливо и бензин, являются источниками поставки поллютантов в атмосферный воздух. Каждый такой источник в среднем выбрасывает более 3 т вредных веществ в год. Сейсморазведка, проводимая со взрыванием зарядов в скважинах, нарушает растительно-почвенный слой с образованием полости – деформированной скважины с воронкой выброса в устьевом части и закрепления поверхности выброшенной при взрыве породы.

Особенно сильно практические все виды техногенного воздействия проявляются в тундровых и аридных районах, в которых восстановление естественных ландшафтов затруднено, прежде всего, малой интенсивностью протекания природных биологических процессов. Бурение скважин в районах вечной мерзлоты сопровождается оттаиванием мерзлых пород с возникновением межпластовых перетоков. В субарктической зоне уничто-

жение растительного покрова приводит к развитию термоэрозийных и термокарстовых процессов.

Масштабы механических нарушений ландшафтов в горнорудных районах определяются местными ландшафтно-геохимическими особенностями, методикой и плотностью разведки. Обычно в наибольшей степени нарушены ландшафты в тех районах, где выше плотность поверхностных горных выработок и применялась штольневая разведка. В меньшей степени нарушены ландшафты объектов, которые разведаны с поверхности более редкой сетью канав, а на глубину – бурением. Геологоразведочные работы, осуществляемые в пределах площадей локализации рудных месторождений, обуславливают определенные геохимические преобразования окружающей среды, которые связаны с воздействием основного производства, вспомогательного производства и транспорта (поступление свинца, никеля, ванадия, хрома), а также с поступлением на поверхность горных пород и подземных вод с аномальными содержаниями различных химических элементов и их соединений (химические элементы, входящие в состав руд и первичных ореолов, сульфаты и хлориды околорудных вод и др.). Например, в горнорудных районах Камчатки основными источниками поставки химических элементов в окружающую среду являются рудные тела, типоморфными поллютантами – As, Se, Hg (золото-сульфосольный тип оруденения), Pb, As, Hg (золото-полисульфидный тип); Cu (золото-медно-ортоклазовый тип). В ходе проведения разведочных работ на рудных месторождениях формируются отвалы канав и штолен, концентрирование в которых As, Hg, Pb и Cu характеризуется средним и даже высоким уровнем ($K_c=10-100$). Техногенные отвалы одновременно являются геохимическими барьерами: сорбционным при образовании глинисто-силикатных кор выветривания (для As, Zn, Cu); щелочным при образовании карбонатных кор выветривания (для As, Pb, Zn). На начальных этапах своего существования они отчасти препятствуют дальнейшему распространению техногенного загрязнения. Химические элементы накапливаются в отвалах преимущественно в труднорастворимых формах, однако для ряда из них достаточно существенна относительная доля подвижных форм, что (при их высоких удельных концентрациях) представляет экологическую опасность и предопределяет их потенциальную повышенную миграционную способность. Основными компонентами окружающей среды, подверженными техногенному загрязнению от отвалов канав, являются почвы, от штольневых отвалов – донные отложения водотоков. Состав техногенного загрязнения соответствует составу основного источника (составу руд). Уровень техногенного загрязнения почв в районе влияния отвалов канав преимущественно низкий, площади загрязнения максимальны в условиях расчлененного рельефа. Наибольшая интенсивность техногенного загрязнения почв выявлена на медных объектах. Техногенные потоки в донных отложениях в зонах влияния штольневых отвалов характеризуется средним уровнем содержания химических элементов и протяженностью до 1 км.

Геологоразведочные работы на нефть и газ достаточно активно проводились и продолжают проводиться на значительных территориях России, причем площади, охватываемые такими работами, заметно больше площади собственно месторождений. Технология проведения некоторых видов геологоразведочных работ на нефть и газ и используемые при этом химические реагенты по степени вредности воздействия на окружающую среду не только не уступают сырой нефти, но и зачастую существенно превышают ее. Наибольшую экологическую опасность на разведочном этапе, особенно для

тажных экосистем, представляют два технологических процесса – сейсмологическая разведка и строительство (бурение) геологических скважин различного назначения. Сейморазведочные скважины подразделяются на 4 типа: 1) не вскрывшие водоносных горизонтов; 2) вскрывшие один или несколько водоносных пластов с ненапорными или слабо-напорными водами, близкими по минерализации и химическому составу; 3) вскрывшие напорные водоносные пласты (фонтанирующие); 4) вскрывшие водоносные горизонты (пласты) с различной минерализацией и составе воды. По составу воды нефтяных и газовых месторождений обычно хлоридные натриевые или кальциево-натриевые, характеризуются высокими концентрациями брома, бора, бария, йода, калия, железа, аммонийного азота и многих микроэлементов. Минерализация их колеблется в широких пределах – от пресных вод до (очень часто) весьма крепких рассолов (10–300 г/л). Состав растворенных в них газов метановый, азотно-метановый, реже метаново-углекислый и углекислый, присутствует сероводород.

Главное воздействие на атмосферу при сейморазведочных работах проявляется в загрязнении воздуха выбросами загрязняющих веществ из стационарных (печи, электростанции, склады и места заправки ГСМ, электросварочные посты в полевых лагерях сейморазведочных партий) и передвижных источников (автотранспорт, гусеничный транспорт, буровое оборудование, бензопилы). Основными загрязняющими веществами являются оксиды азота, оксид углерода и углеводороды (более 80% всех выбросов).

Влияние на поверхностные воды при проведении полевых сейморазведочных работ сводится к нарушению рельефа и естественного стока, загрязнению ГСМ в случае утечек, проливов и разливов (в т. ч. аварийных), возможному загрязнению поверхностных вод при пересечении водных преград, захламлению территории отходами производства и потребления, загрязнению сточными водами. Нарушение почвенно-растительного слоя способствует активизации эоловых и эрозионных процессов, образованию новых форм микрорельефа. Особенно сильное негативное воздействие поисково-оценочные работы оказывают в случае их проведения в зоне многолетней мерзлоты, так как окружающая среда здесь наиболее уязвима.

При подготовке буровых площадок поисковых и разведочных скважин, выполнении работ, связанных с планировкой территории, строительством шламовых амбаров и др., происходит уничтожение растительности. Бурение поисковых и разведочных скважин на нефть и газ оказывает воздействие на целостность массива горных пород, на окружающую среду, приводит к изменению режима и к загрязнению подземных вод (снижение пластовых давлений, изменение гидродинамики, проникновение загрязняющих веществ в нижележащие горизонты), обводнению залежей, загрязнению различных компонентов окружающей среды нефтью, ее компонентами и химическими реагентами буровых растворов. К загрязнению поверхности приводит открытое фонтанирование скважин, особенно если в нефтях или газах содержится сероводород, прорыв газа по трещинам в виде грифонов, изливание минерализованных подземных вод, которые нередко отличаются высокими концентрациями многих тяжелых металлов, лития, цезия, рубидия, стронция, калийных солей, щелочей. Количество скважин в районе проведения геологоразведочных работ может быть очень велико. В приустевой зоне скважины обычно наблюдается максимальное повреждение почвенного покрова за счет удаления гумусового горизонта, уплотнения, перемешивания, загрязнения буровыми растворами, нефтью. В пределах буровой площадки более половины общего объема отходов составляют

буровые сточные воды, 28% приходится на отработанную промывающую жидкость, в остальные 16% входят раствор для испытания и удаленная порода. Наибольшую опасность при проведении буровых работ и строительстве скважин представляет химическое загрязнение территории буровым раствором, химическими реагентами, буровыми отходами, продукцией скважин, а также аварийные выбросы пластовой жидкости, низкая герметичность оборудования, плохое цементирование, прорывы и переполнение буровых амбаров. В почвах, расположенных вблизи технических систем, содержание углеводов в почвах заметно увеличивается и может достигать 0,5–1,5 г/кг, иногда до 2,0 г/кг даже вне морфологически видимых техногенных потоков.

Исследования на площадках разведочного бурения в таежной зоне Тюменской области показали, что по сравнению с зональными подзолистыми почвами в их техногенно-измененных модификациях отмечается резкое увеличение содержания водорастворимых солей. Это приводит к формированию в измененных горизонтах почв щелочной среды, которая вниз по профилю изменяется до кислой; заметно повышается величина емкости поглощения почвы, причем вниз по профилю она снижается. Для техногенно-измененных горизонтов почв отмечается низкое содержание гумуса. В результате воздействия разведочного бурения в почвах формируются геохимические аномалии с относительно невысокой интенсивностью концентрирования металлов (K_c 1,5–10), пространственное распределение которых зависит от степени механического нарушения органического горизонта почв. Обычно в техногенно-измененных почвах наблюдается регрессивно-аккумулятивный тип распределения металлов по профилю: накопление в верхнем гумусовом (органогенном) горизонте и резкое понижение их содержания в нижних горизонтах. Наиболее интенсивно в верхнем горизонте почв концентрируются Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Hg, Fe, Ba, сульфаты, хлориды, нефтепродукты, нитраты. Максимальное техногенное загрязнение, как правило, локализовано вблизи разведочных скважин. Расчет показателя суммарного загрязнения почв свидетельствует о среднем и сильном загрязнении почв тяжелыми металлами ($Z_c=17-36$) вблизи старых разведочных скважин. Серьезную проблему представляют выбуриваемые породы. При средней глубине скважины в 2500 м на поверхность извлекается 350 м³ грунта, а при глубине 5000 м – 800 м³. Эти породы, обычно складываемые в виде отвалов вблизи буровой, сильно загрязнены буровыми растворами и нефтепродуктами, что не исключает поступления поллютантов в окружающую среду. Устойчивое техногенное загрязнение формируется в районах буровых амбаров.

Бурение разведочных скважин на море с помощью буровых судов, полупогружных или самоподъемных буровых установок сопровождается выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросами сточных вод, образованием отходов, воздействием на морскую биоту; по имеющимся немногочисленным данным эти воздействия в целом относительно незначительные.

В настоящее время расширение минерально-сырьевой базы страны предъявляет высокие требования не только к экономическим условиям освоения месторождений, но и требует учитывать экологические последствия, проявляющиеся уже в ходе геологоразведочного процесса. Существующая на сегодняшний день система экологического нормирования при геологоразведочных работах требует разработки природоохранных нормативов воздействия на окружающую среду при реализации геологических проектов с учетом различных географо-климатических и горно-геологических усло-

вий и устойчивости конкретной территории к техногенному воздействию. Для предотвращения негативного влияния на окружающую среду следует провести инвентаризацию всего фонда геологоразведочных скважин для выявления фактов разгерметизации их устья, проведения ремонтных и ликвидационных работ, для установления необходимости рекультивации буровых амбаров, содержащих нефть и буровые шламы. В любом случае требуются организация и проведение специальных исследовательских и научно-методических работ по выявлению всех наиболее значимых экологических последствий, проявляющихся на различных этапах и стадиях геологоразведки с учетом специфики месторождений и ландшафтных условий их размещения.

Литература

1. *Аводкин В.В.* Технические средства и методика разведки месторождений полезных ископаемых. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 208 с.
2. *Алексеев А.Г.* Оптимизация комплекса геологоразведочных работ на нефть и газ в Северном Каспии: Автореферат дис. ... кандидата геол.-мин. наук. – Ростов-на-Дону, 2009. – 26 с.
3. *Баянова Г.Ф., Алексеева Е.А.* Состояние экологии нефтегазодобывающего комплекса и улучшение ее обстановки // Булатовские чтения: Мат-лы I Междунар. научн.-практ. конф. (31 марта 2017 г.): в 5 т.: Сборник статей. Т. 4: Проектирование, сооружение и эксплуатация систем трубопроводного транспорта. Химическая технология и экология в нефтяной и газовой промышленности. – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2017.- С. 17–18.
4. *Бурцев М.П.* Поиски и разведка месторождений нефти и газа: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 263 с.
5. *Быков П.Ю.* Техника экологической защиты Крайнего Севера при строительстве скважин. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1991. – 238 с.
6. *Вадецкий Ю.В.* Бурение нефтяных и газовых скважин. – М.: Изд-во «Академия», 2004. – 352 с.
7. Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ. Утв. Приказом МПР РФ № 126 от 7 февраля 2001 г. – М.: МПР РФ, 2001.
8. Временное положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). Утв. Распоряжением Министерства природных ресурсов Российской Федерации № 16–р от 3 февраля 1998 г. – М.: МПР РФ, 1998.
9. Временные требования к геологическому изучению и прогнозированию воздействия разведки и разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду. Утв. Председателем ГКЗ СССР 22 июня 1990 г. – М.: ГКЗ СССР, 1991. – 12 с.
10. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука, 1983. – 160с.
11. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИИ-Природа. – 2017. – 760 с.
12. *Григорьев Н.П., Голембиевская Л.П., Елева П.В. и др.* Охрана окружающей среды при геологоразведочных работах. – М.: ВИЭМС, 1991. – 44 с.
13. *Домащенко В.А.* Эколого-экономическая оценка месторождений (твердые полезные ископаемые). Учебное пособие. – Томск: Издательство Томского Политехнического Университета, 2007 // portal.tpu.ru:7777/SHARED/d/DOMARENKOVA/.../Projekt_Ekologo-econon.doc.

14. *Дорожукова С.А.* Оценка воздействия нефтегазодобывающей промышленности Тюменской области на окружающую среду. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 32 с.

15. *Дорожукова С.А.* Эколого-геохимические особенности нефтегазодобывающих районов Тюменской области: Автореферат дис. ... кандидата геол.-мин. наук. – М., 2004. – 24 с.

16. *Дорожукова С.А., Янин Е.П.* Экологические проблемы нефтегазодобывающих территорий (на примере Тюменской области) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды.- 2002.- № 6.- С. 57–92.

17. *Дорожукова С.А., Янин Е.П.* Пространственное распределение загрязняющих веществ на участках бурения разведочных скважин в Среднем Приобье // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. Вып. 3. – Тюмень: Изда-во ИПОС СО РАН, 2002.- С. 174–181.

18. *Дорожукова С.А., Янин Е.П.* Экологические проблемы нефтегазодобывающих территорий Тюменской области. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 56 с.

19. *Калинин А.Г.* Перспективы развития глубокого бурения на нефть и газ в России // Разведка и охрана недр.- 2008.- № 8.- С. 52–58.

20. *Кириченко Ю.В., Яковлева Т.П.* Экологический мониторинг геологоразведочных работ на Шушукском перспективном участке недр // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).- 2007.- № 6.-С. 95–100.

21. *Кириченко Ю.В., Яковлева Т.П.* Организация и ведение экологического мониторинга при проведении геологоразведочных работ // Известия вузов. Геология и разведка.- 2008.- № 6.- С. 74–77.

22. *Козловский Е.А., Горохов С.А., Писарнищук А.А. и др.* Стратегия государственного управления недропользованием в Российской Федерации. – Тюмень, ФГУП «ЗапСибНИИГТ», 2009. – 92 с.

23. *Комащенко В.И., Голык В.И., Дребенштетт К.* Влияние деятельности геологоразведочной и горнодобывающей промышленности на окружающую среду. – М.: Книжный дом Университет, 2010. – 355 с.

24. *Лукьянов В.Г., Панкратов А.В., Шмурыгин В.А.* Технология проведения горно-разведочных выработок. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 549 с.

25. Методические рекомендации по планированию мероприятий по охране окружающей среды при производстве геологоразведочных работ. – М.: ВИЭМС, 1990. – 41 с.

26. *Милотин А.Г., Порцевский А.К., Калинин П.С.* Охрана недр и рациональное недропользование при горных, горно-разведочных и буровых работах. – Москва: МГОУ, 2005. – 150 с.

27. *Московченко А.В., Дорожукова С.А.* Последствия буровых работ на севере Тюменской области // Экология и промышленность России, 2002, сентябрь, с. 27–30.

28. *Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю.* Анализ изменения ландшафтов севера Западной Сибири под влиянием нефтегазодобычи // Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Доклады Всерос. научн. конф. Москва, 4–6 апреля 2012 г., М.: Географический факультет МГУ, 2012.- С. 242–244.

29. Российский статистический ежегодник. 2015: Статистический сборник. – Москва, 2015. – 728 с.

30. *Сает Ю.Е., Опищенко Т.А., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. – М.: ИМГРЭ, 1987. – 100 с.

31. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для нефтедобывающего сектора. – М.: Программа развития ООН, Глобальный экологический фонд, 2015. – 274 с.

32. Семенович В.В., Высоцкий П.В., Корчагина Ю.П. и др. Основы геологии горючих ископаемых. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987. – 397 с.

32а. Соромотин А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2010. – 320 с.

32б. Соромотин А.В. Экологические последствия различных этапов освоения нефтегазовых месторождений в таежной зоне Тюменской области // Сибирский экологический журнал.- 2011.- № 6.- С. 813–822.

33. Сунгатуллин Р.Х. Техника геологоразведочных работ (краткий конспект лекций). – Казань: К(П)ФУ, 2013. – 72 с.

34. Тищенко В.Е., Томашевский А.М., Дунаев В.Ф. и др. Экономика нефтегазоразведочных работ: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1988. – 359 с.

35. Труфанов А.В. Геоэкологические проблемы разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. – 136 с.

36. Хованская М.А. Эколого-геохимическая оценка территории поисковых и геолого-разведочных работ на Алакит-Моркокинском объекте (Саха-Якутия) // Вестник ВГУ, Серия: Геология.- 2011.- № 2.- С. 220–229.

37. Хренов П.М., Синчук Ю.А., Кузнецов В.Г. и др. Воздействие геологоразведочных и горнодобывающих работ на геологическую и окружающую среду. – М.: Геоинформмарк. 1992. – 46 с.

38. Чижов Б.Е. Охрана и рекультивация таежных экосистем при нефтегазодобыче. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2011. – 259 с.

39. Юдахин Ф.Н., Гибайдуллин М.Г., Коробов В.Б. Экологические проблемы освоения нефтяных месторождений севера Тимано-Печорской нефтегазодобывающей провинции. – Екатеринбург, Уро РАН, 2002. – 315 с.

40. Яблонская Д.А. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах и техногенных образованиях месторождения Кумроч // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология.- 2003.- № 4.- С. 67–71.

41. Яблонская Д.А. Оценка природных рисков при освоении золото- и меднорудных месторождений Камчатки // Разведка и охрана недр.- 2003.- № 8.- С. 10–14.

42. Яблонская Д.А. Оценка воздействия геологоразведочных работ на окружающую среду и природных рисков освоения рудных месторождений Камчатки: Автореферат дис. ... кандидата геол.-мин. наук. – М., 2004. – 32 с.

43. Яблонская Д.А., Николаев Ю.Н., Шестакова Т.В. и др. Оценка воздействия геологоразведочных работ на окружающую среду (на примере Камчатки): Методическое руководство. – М.: ГЕОКАРТ; ГЕОС, 2010. – 152 с.

44. Яковлева Т.П. Закономерности изменения компонентов окружающей среды под влиянием геологоразведочных работ на нефть и газ на территории Байкитской антеклизы // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2014.- № 3.- С. 417–423.

45. Яковлева Т.П. Геоэкологические аспекты разведочных работ на примере месторождения нефти и газа в Восточной Сибири // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2015.- № 2.- С. 411–415.

46. Якубовский Ю. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды: Пер. с польск. – М.: Транспорт, 1979. – 198 с.

47. Bander T.A., Barbarick K.A., Shanahan J.F. et al. Drilling fluid effects on crop growth and iron and zinc availability // J. Environ. Qual.- 1999.- 28, № 3.- P. 744–749.