

Обоснование концепции развития геотехнологий на основе изучения природных и техногенных факторов изменения экологических систем Арктики при освоении недр

Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Калабин Г.В.

Институт проблем комплексного освоения недр РАН

1.Актуальность исследований.

В рамках фундаментальной проблемы по сохранению биологического потенциала Арктики в процессе освоения ее минеральных ресурсов, проект направлен на решение научной задачи по обоснованию долгосрочных перспектив развития новых геотехнологий при эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых. Перспективы обеспечения потребностей общества во всех видах природных ресурсов в значительной степени связаны с освоением регионов Арктической зоны (АЗРФ). Опережающее значение это имеет для развития минерально-сырьевого комплекса и прежде всего месторождений стратегических видов полезных ископаемых.

Известно, что биогеоценозы криолитозоны представляют собой особый элемент биосферы, характеризующийся низкой емкостью биологического круговорота, мозаичностью почвенного и растительного покрова, бедностью видового состава фитоценоза и его низкой биопродуктивностью. Это означает, что при техногенном разрушении участков биогеоценозов в процессе добычи полезных ископаемых возможности биоты к самовосстановлению в постэксплуатационный период являются очень ограниченными. Поэтому при формировании и развитии природно-технических систем освоения недр в криолитозоне весьма актуальным является повышение уровня экологической безопасности применяемых геотехнологий до уровня, обеспечивающего сохранность и самовосстановление низкопродуктивных экосистем криолитозоны. Решение этой проблемы связано с необходимостью проведения фундаментальных исследований в области техногенной эволюции литосферы Арктической зоны, как первопричины всех экологически значимых факторов.

Для устойчивого развития Арктики необходимо, в первую очередь, сохранить биологическое разнообразие очень ранимой северной природы, поскольку техногенная активизация криогенных процессов может надолго затруднить, либо сделает невозможным восстановление естественных природных геосистем.

Вторым важным условием устойчивого развития Арктики является сохранение здоровья населения в целом и коренного, в частности [1]. Миллионное население АЗРФ на 90% сформировано за счет миграции в 60-80 годы прошлого столетия в период активного, крупномасштабного освоения природные ресурсы Севера, в первую очередь, углеводородных. В общей численности высокий процент составляют коренные народы (по разным оценкам от 150 до 200 тыс.чел.), которые в основном проживают в условиях естественных экосистем и занимаются традиционными видами природопользования: охотой, рыболовством, оленеводством и пушным промыслом. К современным природным факторам, влияющим на состояние исконной среды обитания коренного населения, относятся процессы, связанные с изменением климата. Среди техногенных факторов - стрессовое воздействие промышленных объектов на оленьи пастбища и охотничьи угодья, охватывающие до 40% площади традиционного природопользования. Сохранение этих территорий является индикатором экологического состояния и необходимым условием устойчивого развития Арктики.

2.Закономерности трансграничного и межширотного переноса и выпадения загрязнений в АЗРФ

2.1. Глобальные и локальные источники загрязнений атмосферы

Формирование техногенных нагрузок на биоту Арктических регионов обусловлено совместным воздействием:

- локальных источников (окислы серы, углерода и азота и тяжелые металлы), определяемых особенностями добычи и переработки минеральных ресурсов и углеводородного сырья;
- глобальных факторов в виде трансграничных переносов различных техногенных загрязнений (двуокись серы, окислы азота, стойкие органические загрязнители);
- природных источников сульфатов: вулканическая деятельность и окисление продуцированного водорослями диметилсульфида в океане.

Кроме того, активно обсуждается вероятность эмиссии метана из мелководного шельфа морей Восточной Арктики и болотного метана при потеплении климата. Шельф содержит значительную часть суперпула углеводородов (метаногидрат) Северного Ледовитого океана и может стать значимым источником метана — важного парникового газа, вклад которого оценивается в 30–40% от вклада двуокиси углерода в парниковый эффект. Однако не доказано, что подводная мерзлота может утратить свою функцию непроницаемой для газов крышки-панциря, что может привести к утечке метана из донных отложений в водную толщу и в атмосферу [2-3].

Что касается болотного газа, то, исходя из прогнозов потепления климата к середине XIX века, его объем, вовлеченный в углеродный цикл, может увеличиться на 20%-30% (6-8 Мт/год). При средней продолжительности жизни молекулы метана в атмосфере равном 12 годам, увеличение количества атмосферного метана составит не более чем на 100 Мт, или на 0,04 ppm. При чувствительности климата к увеличению атмосферного содержания метана на 1 ppm порядка 0.3°C, к середине 21 века за счет таяния болот криолитозоны России, средняя глобальная температура воздуха может увеличиться приблизительно на 0.01°C, что не существенно по сравнению с воздействием, оказываемым другими климатообразующими факторами. [4]

Длительное время Арктика считалась исключительно чистым регионом. По мере развития промышленности уровень антропогенной серы и окислов азота в Европе и Северной Америке быстро нарастал в начале прошлого века и к его середины достиг максимальных значений (Табл.1). Соответственно – объемы отходящих газов из природных источников не меняются, а антропогенные нарастают.

В глобальном масштабе продуцирование кислот за счет окислов серы увеличится к 2100 году вдвое, тогда как за счет окислов азота – почти в 3 раза. В результате дальнего межконтинентального, трансграничного и межширотного переноса загрязняющих веществ, в первую очередь, кислотообразующих агентов, ситуация в Арктике ухудшилась и проявилась в закислении почв и водоемов [5].

Табл.1 Прогнозный сценарий эмиссии кислотообразующих веществ из природных и антропогенных источников, пересчитанных на эквиваленты продуцированных кислот [6]

Эквивалент кислот	1990	2000	2025	2050	2100
Природные					
SO _x , млн.т-экв	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
NO _x , млн.т-экв	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Антропогенные					
SO _x , млн.т-экв	1,8	1,9	2,9	3,8	3,6
NO _x , млн.т-экв	1,4	1,5	2,3	3,0	4,1
Всего	4,6	4,8	6,6	8,2	9,1

В Северной Америке и Европе ежегодно в атмосферы выбрасывается более 100 млн.т диоксида серы. Выбросы в атмосферу Китая и стран южной Азии превосходят выбросы Европы и, Северной Америки и России вместе взятых [7].

Нахождение следов сажи (черного углерода) в Арктике, которая может служить маркером трансграничных потоков из Азии и Китая, связывают с эмиссией и переносом загрязняющих веществ из южных регионов в Арктику.

Расчеты, выполненные по модели (DEHM) трансграничных потоков Датского метеорологического института показали [8], что загрязненные воздушные массы в объемах 1.6. % выбросов из Китая и Азии и 10 % от всех выбросов в Центральной Европе могут достигнуть Арктики в зависимости от метеоусловий конкретных сезонов от 5 до 10 дней. Из Сибири в Арктику также привносится около 10% общих выбросов. Поэтому, несмотря на более высокие выбросы в Китае и Азии, центральная Европа и Сибирь формирует более высокие экологические риски и оказывает большее влияние на загрязнение Арктики.

Наиболее крупные **локальные** источники загрязнения атмосферы окислами серы, углерода и азота и тяжелыми металлами сформировались в районах размещения медно-никелевых производств на Кольском полуострове и в Норильском промышленном районе, добычи нефти и газа Ямало-Ненецком и Ханты- Мансийском автономных округах. Анализ натурных измерений и модельных расчетов (на примере распространения диоксида серы комбинатом «Североникель») показывает, что основная часть эмиссии серы (80%) осаждается в пределах 30-100 км [8-10]. Это подтверждает тот факт, что основные объемы эмиссии кислотообразующих веществ от локальных источников распространяются в приземном слое вокруг источника. По мере удаления, воздушные массы с меньшей концентрацией двуокиси серы, распространяются на большие расстояния в более высоких слоях атмосферы.

Установлены закономерности, развивающиеся в водах суши Субарктики, на примере Кольского Севера, в зависимости от снижения техногенной нагрузки медно-никелевыми производствами при одновременном потеплении климата. За последние 20 лет зафиксировано снижение содержания сульфатов и концентрация тяжелых металлов в воде озер в 5-10 раз. Вместе с тем, снижение поступления кислотообразующих агентов (сульфатов) не привело к улучшению качества вод: щелочность и pH повысились только в 46 % озер (*тенденции к восстановлению качества вод*), в 24 % происходит дальнейшее снижение этих показателей (*тенденции к повышению степени закисления*), и в 31 % - достоверных изменений не прослеживается. В очень уязвимых озерах, расположенных на кварцевых песках лесных массивов или на возвышенностях, процессы закисления вод прогрессируют. Новым установленным феноменом изменения в водах суши является нарастание содержаний растворенного органического вещества (РОВ), который можно объяснить потеплением климата за последние 20 лет на 1.06°C. Это объяснение подтверждается сопряженным с РОВ повышением содержаний общих форм азота и фосфора, что является признаком повышения трофического статуса озер и ускорения биогеохимических процессов.

3.Выпадение кислотных осадков

Выпадение кислотных осадков может происходить в процессах взаимодействия дождевых капель и снежных кристаллов с газами и частицами в атмосфере, за счет непосредственного сжижения газов и выпадения частиц в осадок, осаднения с помощью облаков и тумана, где атмосферное загрязнение внедряется в капельки тумана или облаков, которые осаждаются на водосборы или водную поверхность. Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает большой вклад трансграничных переносов загрязняющих веществ в закисление арктических регионов, что согласуется с приведенными оценками по переносу воздушных загрязнений [8].

На Кольском Севере вклад в выпадения серы трансграничных переносов составляет 29.5%, тогда как азота – 91.7; в Архангельской области и Коми республике (северная часть) – 87.8 и 93.6 соответственно; Красноярском крае (северная часть) - 22.5 и 93.3; Якутии, Магаданской области и Чукотке (северная часть) – 100%.

Таблица 2. Среднегодовые атмосферные выпадения (нагрузки) сульфатов и азота за счет собственных источников и трансграничного переноса [11].

	Общие выпадения		Собственные источники		Трансграничные источники	
	т/год	%	т/год	%	т/год	%
Кольский полуостров						
Сульфаты	65500	100	46100	70.5	19400	29.5
Азот (NO _x)	9600	100	800	8.3	8800	91.7
Общий азот	30000	100				
Архангельская область и Коми республика (северная часть)						
Сульфаты	48400	100	5890	12.2	42510	87.8
Азот (NO _x)	13100	100	840	6.4	12260	93.6
Общий азот	46500	100				
Красноярский край (северная часть)						
Сульфаты	286200	100	22200	77.5	64200	22.5
Азот (NO _x)	1590	100	1060	6.7	14840	93.3
Общий азот						
Якутия, Магаданская область, Чукотка (северная часть)						
Сульфаты	70720	100				
Азот (NO _x)	36400	100				
Общий азот	104000	100				

Остальная часть кислотообразующих веществ переносится далее в Арктику, где осаждается на морскую поверхность. По данным АМАР [12], ежегодные выпадения на поверхность морей Российской Арктики составляют 390 тыс.т сульфатов и 147 тыс.т нитратов (табл.3).

Таблица 3.

Атмосферные выпадения (нагрузки) сульфатов и азота на открытые морские акватории Северного ледовитого океана [12].

	Сульфаты		NO ₃ -N	
	общие, т/год	средние, кг/км ² /г	общие, т/год	средние, кг/км ² /г
Баренцово море	256000	180 (110-220)	85440	60 (40-70)
Карское море	79470	90 (60-120)	35300	40 (25-55)
Море Лаптевых	19860	30 (20-40)	7900	12 (5-25)
Восточно-Сибирское море	22800	25 (20-30)	9100	10 (5-20)
Чукотское море	11900	30 (10-50)	9000	15 (10-15)

Бесспорно, столь укрупненные оценки формируют представления о проблеме выпадений кислот в пределах целого региона, но не отражают изменчивость на локальном уровне в зависимости от факела выбросов, розы ветров, орографии и других ландшафтных особенностей региона.

Анализ данных по распределению встречаемости значений pH снеговых проб по данным 2001-2004 гг. в ряде регионов Российской Арктики (рис.1) показывает, что закисленный снег прослеживается по всем регионам, проявляясь в максимальной степени (pH менее 5) на Кольском п-ове, в Ямало-Ненецком регионе, Северной части Якутии и даже на Чукотке.

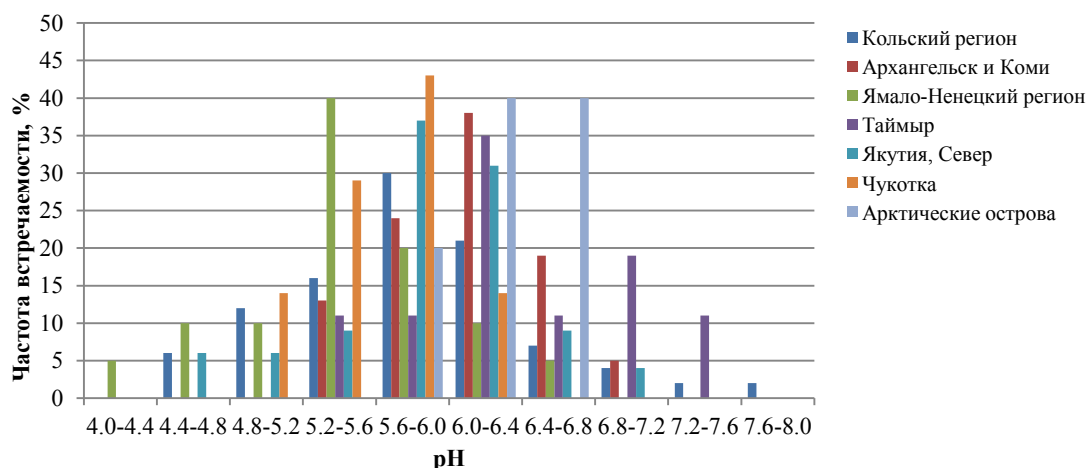


Рис. 1. Частота встречаемости pH в снеговых пробах (%) [12].

4. Локальные и глобальные источники загрязнений тяжелыми металлами

Тяжелые металлы (ТМ) поступают в атмосферу, водные и наземные экосистемы Арктической зоны России вследствие эмиссии от локальных промышленных центров, и в меньшей степени за счет трансграничных переносов. В целом, для Российской Арктики характерны низкие концентрации металлов в воздухе по сравнению с регионами Европы и Азии, за исключением Норильского и Кольского региона, которые связаны с выбросами медно-никелевых производств. Исходя из пространственного распределения элементов в снежном покрове, на Мурманском берегу по таким элементам, как Cu, Zn, Ni, заметно проявляется влияние региональных источников антропогенной эмиссии. Для элементов Pb, Cr, Cd и Hg влияние региональных источников невелико, их потоки в Арктику связаны с трансграничными переносами загрязняющих веществ на дальние расстояния.

Ртуть относится к одним из наиболее токсичных элементов. В Арктике от Канады до Урала вдали от урбанизированных очагов на суше и в прибрежной зоне устойчиво сохраняется средний уровень концентрации газообразной ртути в атмосферном воздухе 1,5-1,8 нг/м³. К востоку от Урала над морской акваторией уровень концентраций снижается почти в два раза. В полярных городах концентрации выше. Над морями Российского сектора Арктики в пограничном с морской поверхностью слое воздуха концентрации ртути ниже, чем над сушей. Средний уровень концентраций ртути в Баренцевом и Карском морях составляет 0,76 нг/м³, снижаясь до 0,32 нг/м³ в восточном направлении.

Основным источником эмиссии *кадмия* является цветная металлургия, объемы выбросов которой в 1,5 раза превышают природную. Кадмий присутствует в природных водах преимущественно в элементарной форме.

За период 1983-2001 гг. концентрации Pb и Cd в атмосферном воздухе над акваторией Баренцева моря (о. Шпицберген) снизились: концентрации Pb более чем на порядок, Cd - примерно в два раза. По-видимому, снижение концентраций связано главным образом с уменьшением объемов антропогенной эмиссии этих металлов в глобальном масштабе.

Основное загрязнение наземных экосистем в Российской Арктике связано с выбросами тяжелых металлов производств, расположенных в Норильском промышленном регионе, Мурманской и Архангельской областях, где сосредоточены крупнейшие предприятия цветной металлургии, горнодобывающие, горно-обогатительные и электроэнергетические объекты. В импактных зонах загрязнения предприятий по переработке цветных металлов образовались техногенные пустоши (в зонах до 10 км) с высоким содержанием тяжелых металлов в почвах, преимущественно

никеля и меди. На удалении от 10 до 100 км развиваются дигрессионные процессы в лесах, обусловленные действием тяжелых металлов и кислотных осадков [13-14]. Содержания тяжелых металлов в почвах отдаленных регионов Арктики (на большей части) находятся в пределах кларковых или близких к ним значений, а их повышенные концентрации имеют, главным образом, геохимическую природу.

В поверхностные воды тяжелые металлы поступают со стоками промышленных производств, с дымовыми выбросами, а также вследствие кислотного выщелачивания из окружающих пород. Большая часть всех локальных источников загрязнения тяжелыми металлами вод крупных рек Сибири сосредоточены в европейской части Арктики и Западной Сибири. В устьевых областях крупных рек содержание металлов в водной среде и взвешенном материале близки к фоновым значениям благодаря процессам разбавления и самоочищения. Несмотря на то, что в устьевых областях крупных рек содержание металлов относительно низкое, в ряде арктических водных объектов в местах выпуска локальных стоков наблюдаются высокие концентрации тяжелых металлов в воде и донных отложениях, которые отражают тот или иной тип воздействия на водосборе. Достаточно серьезные проблемы с состоянием водной среды также имеются в Республике Саха (Якутия), в бассейне р. Колымы, в Чукотском АО и других регионах Восточной Арктики. Однако до критического или выше критического порога ситуация в этих регионах не достигает. Высокие концентрации никеля и меди в воде озер, значительно превышающие ПДК, выявлены вокруг металлургических комплексов – на расстоянии 30-50 км в зависимости от розы ветров. В последние годы наметилась тенденция снижения эмиссии тяжелых металлов и их выпадения на водосборы. Вместе с тем, загрязнение вод в локальных зонах металлами остается высоким (концентрации никеля и меди более 10 мкг/л). В процессе функционирования крупных металлургических производств на дне озер локальных зон загрязнения сформировались техногенные геохимические провинции, в которых добытые из недр и обогащенные в технологических циклах металлы приобрели токсичные свойства. Накопленные в донных отложениях металлы могут стать источниками вторичного загрязнения водных объектов.

В отдаленных от промышленных центрах озерах (показано на примере озер в Чуна-тундрах) наблюдается тенденция нарастания содержаний металлов, связанная как с трансграничными переносами металлов на дальние расстояния, так и локальными источниками эмиссии металлов. В исторической ретроспективе с началом индустриального развития Европы, в начале 19 века, обозначилась аккумуляция Pb, Cd и других элементов, что подтверждает глобальное загрязнение атмосферы северного полушария с этого периода. В середине данного столетия, с началом развития местной промышленности в регионе, аккумуляция металлов увеличивается, как следствие обогащения ими верхних слоев атмосферы.

Выделяется три главных пути переноса тяжелых металлов в арктические моря: перенос воздушными потоками, наземно-пресноводные пути (речной сток, льды) и океанические пути (океанские течения). Основываясь на последних данных [15]. Океанический перенос загрязнителей очень медленный и может занять от года до десятилетия. В рыбах Баренцева моря наиболее высокие концентрации ртути, кадмия и свинца наблюдается в водах западного сектора, где сказывается влияние Гольфстрим.

4 . Качество поверхностных и подземных вод

Высокая обеспеченность регионов Севера водными ресурсами до последнего времени не вызывала тревогу об их состоянии. Вместе с тем, интенсивное освоение богатых месторождений полезных ископаемых Арктики и трансграничные переносы загрязняющих веществ приводят к быстрому нарушению хрупкого экологического равновесия уже во многих урбанизированных районах, что стремительно ведет к

качественному истощению водных ресурсов в промышленных городах и поселках.

Анализ имеющихся научных материалов по оценке качества поверхностных и подземных вод арктического бассейна выявил очень низкую степень изученности этого региона. Основные исследования сосредоточены в верхнем и среднем течениях.

Используя классификацию качества воды Минприроды: «условно чистая»; «слабо загрязненная»; «загрязненная»; «очень загрязненная»; «грязная»; «очень грязная»; «экстремально грязная», следует констатировать, что в настоящее время сильно загрязнены тяжелыми металлами, нефтепродуктами, взвешенными веществами, органическими токсичными соединениями практически все крупные реки Арктического бассейна вблизи населенных пунктов и промышленных зон: Печора, Северная Двина, Обь, Лена, Енисей и др. [9] Аккумулируя в себя различного типа промышленные стоки производств, расположенных вдоль рек, загрязненный поток вод движется в арктические регионы, где механизмы миграции и поведения поллютантов имеют свою специфику, а токсичные эффекты более значимы. Вместе с тем, данные мониторинга по оценке загрязнения Арктических рек и их притоков в точках выпуска загрязнения нельзя экстраполировать на воды суши всей территории Арктического бассейна. В целом, водные ресурсы на огромных пространствах Российской Арктической зоны все еще сохраняют природные характеристики.

Основное водоснабжение городов и поселков, расположенных в Арктических зонах, осуществляется из поверхностных водоисточников, которые зачастую служат и приемниками сточных вод или подвержены аэротехногенному загрязнению. Биоиндикация в импактных зонах загрязнения подтверждает неудовлетворительное качество вод на основных водозаборах питьевого водоснабжения. Исследования экологических последствий загрязнения поверхностных вод суши Арктической зоны убедительно показывает необходимость корректировки ПДК и ужесточения их значений для большинства компонентов, по крайней мере, в 3 раза. В условиях Арктики взаимодействие антропогенных факторов с окружающей средой имеет наиболее выраженные отрицательные эффекты. В то же время водоемы здесь приобретают особое значение в силу больших запасов высококачественной пресной воды и ценной рыбной продукции в виде лососевых и сиговых рыб. При комплексном использовании водных ресурсов в регионах Субарктики приоритет должен быть отдан чистой воде и формированию в ней рыбопродукции. В основе решения проблемы защиты водных ресурсов от загрязнения промышленными сточными водами лежит профилактический принцип. Весь комплекс водохозяйственных мер в промышленности будет правильно организован лишь в том случае, если охрана водных ресурсов будет осуществляться в процессе их использования.

Таким образом, приведенные данные, позволяют, во-первых, идентифицировать загрязнения экосферы за счет трансграничных переносов как условно-постоянной фоновой экологической нагрузки, а локальных техногенных воздействий, как переменные во времени и пространстве экологические факторы; во-вторых, изучить характер транзита и депонирования трансграничных поллютантов по территории Арктической зоны с увеличением масштаба оценок на участках, имеющих ресурсную перспективу по основным видам твердых полезных ископаемых и, в-третьих, оценить исходный фон состояния загрязнения региона в целом, на который накладывается локальная техногенная нагрузка предприятий горнопромышленного комплекса в зависимости от факела выбросов, розы ветров, орографии и других ландшафтных особенностей.

5. Базовые основы концепции развития геотехнологий в Арктической зоне

Системное изучение горно-технических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых в пределах Арктической зоны [16-18] показало, что по главному отличительному признаку – отрицательной температуре массивов горных пород, в

состав объекта исследования целесообразно включить все месторождения, которые дислоцированы на территориях Субарктики, занятых сплошной многолетней мерзлотой со среднегодовыми температурами пород ниже -5°C и глубиной промерзания более 200 м. (выделено красным, рис.2)



Рис.2 Распространение многолетнемерзлых пород (ММП)

Здесь состояние многолетней мерзлоты вносит существенные ограничения при освоении месторождений. Для этих территорий, при добыче твердых полезных ископаемых, целесообразно использовать принципы построения геотехнологий на основе использования структуры естественного температурного ресурса криолитозоны с учетом криогенной текстуры разрабатываемых горных массивов, отличающихся формой, величиной и расположением ледяных включений. Применительно к проблемам разработки коренных месторождений твердых полезных ископаемых, характер влияния этих включений на эффективность технологических процессов кардинально изменяется в зависимости от фактора времени. На стадии очистной выемки, когда горные породы подвергаются интенсивным, но кратковременным нагрузкам при их бурении и взрывании, включения льда являются фактором повышающим эффективность этих процессов, так как динамическая прочность льда всегда обратно пропорциональна скорости нагружения (Рис.3)



Рис. 3 Зависимость прочности льда (Р) от скорости нагружения (Скн.)

В то же время, при управлении горным давлением за счет формирования естественных или искусственных несущих конструкций (целиков), определяющее значение приобретает способность льда к плавным деформациям под действием долговременных нагрузок, именуемых в технологии ползучестью льдопородных массивов (Рис.4).

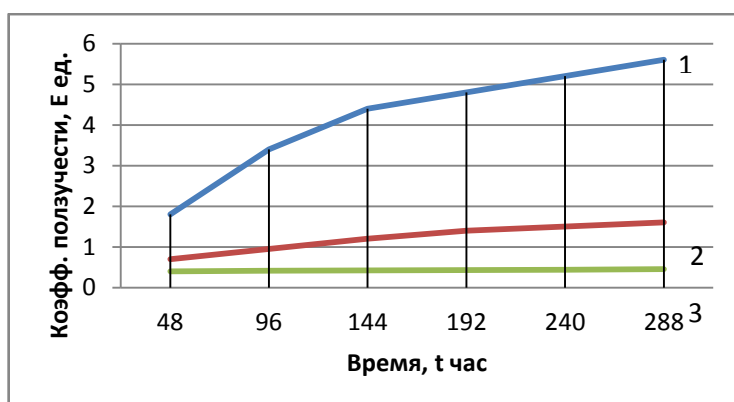


Рис. 4 Изменение ползучести льдопородного массива (Е) во времени при различных внешних нагрузках (Р)
1-Р=0,8 МПа; 2-Р=0,6 МПа; 3-Р=0,4 МПа.

Поэтому разработанная и предложенная общая модель техногенно-измененных недр на основе теоретических представлений о деформировании твердого тела со структурой, требует адаптации к специфическим условиям освоения недр Арктической зоны в направлении дифференцированного рассмотрения особенностей деформирования льдосодержащих горных пород на различных стадиях разработки месторождений.

Низкие среднегодовые температуры воздуха и сопряжённые с этим отрицательные температуры горных пород, расположенных ниже зоны летнего протаивания, являются применительно к проблемам разработки рудных месторождений (в т.ч. и жильных) природным фактором, имеющим тройное значение. С одной стороны – этот фактор осложняет общие условия освоения месторождений, включая условия жизни и работы человека, а с другой – отрицательные температуры массива горных пород повышают его устойчивость и упрощают решение технологических вопросов. В третьем случае – низкие температуры можно рассматривать как дополнительный природный ресурс, открывающий возможности для создания новых, более безопасных, эффективных и экологических геотехнологий подземного освоения рудных месторождений.

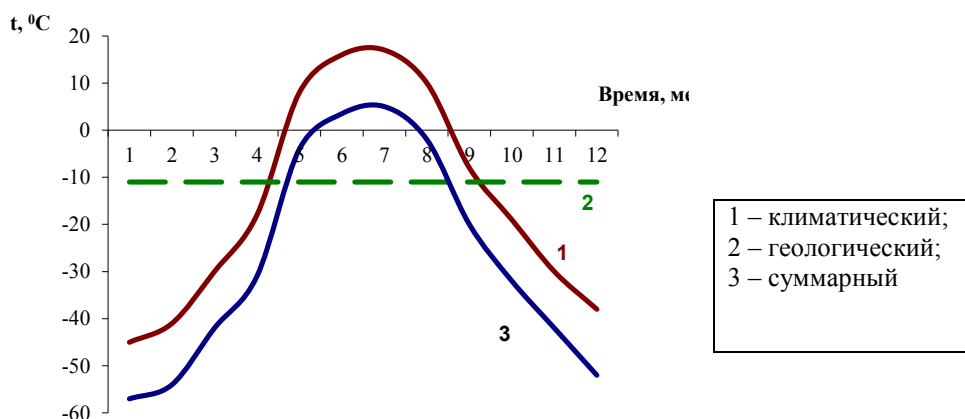


Рис.5. Температурный ресурс природной составляющей природно-технической системы освоения месторождения

Сказанное выше, позволяет сформулировать новое понятие температурного ресурса месторождения, под которым понимается интегральное единство климатически обусловленной отрицательной температуры наружного воздуха и разрабатываемого массива горных пород, используемое при создании и применении геотехнологий подземного освоения месторождений. Из приведённого определения видно, что это ресурс, в свою очередь, делится на две составляющие – климатическую и геологическую, каждая из которых изменяется во времени и пространстве по собственным законам и оказывает разное влияние на выбор технологических решений.

Впервые раскрыта факторная структура системы техногенных воздействий и биотической реакции на них при разработке месторождений в Арктической зоне, исследование которой показало, что наибольшим факторным весом, применительно к условиям реализации гипотезы о коэволюционном взаимодействии антагонистов, обладает размер площади полного разрушения биоты, определяемый в каждом конкретном случае характером обращения извлеченного из недр вещества литосферы (рис.6).

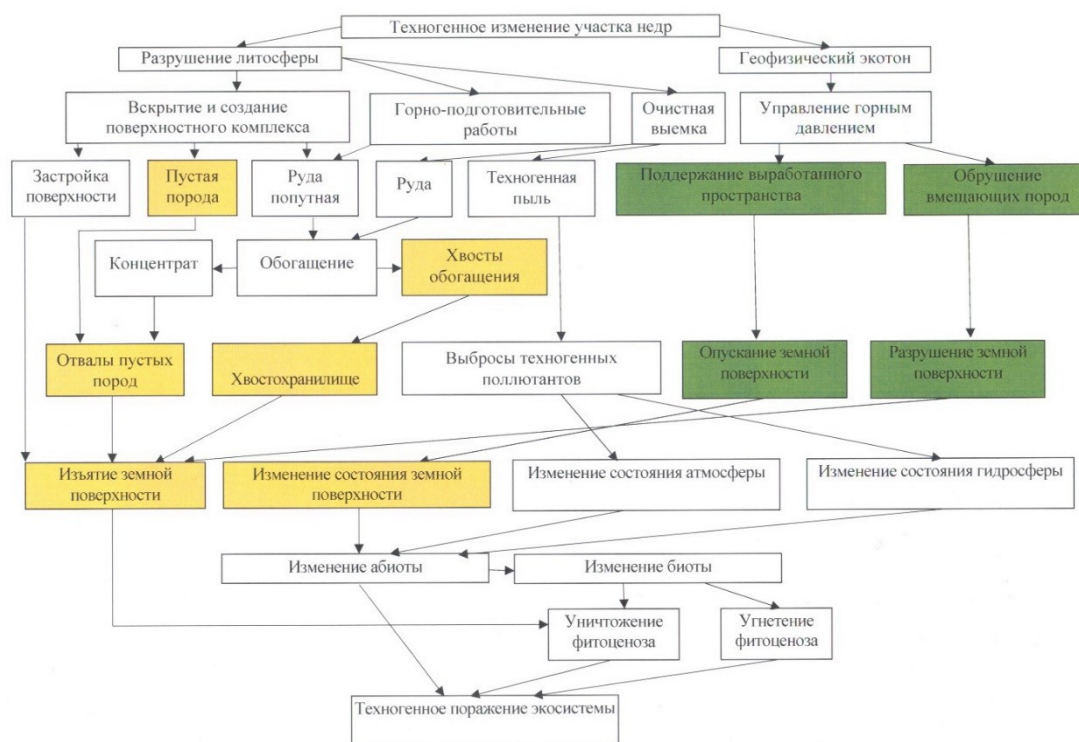


Рис.6 Общая структура техногенных факторов горного производства и криолитозоне

Исходя из вышесказанного сформулируем базовые основы концепции развития геотехнологий в Арктической зоне

- Идентификация загрязнения экосферы за счет трансграничных переносов как условно-постоянной фоновой экологической нагрузки, а локальных техногенных воздействий, как переменные во времени и пространстве экологические факторы

- Изучение характера транзита и депонирования трансграничных поллютантов по территории Арктической зоны с увеличением масштаба оценок на участках, имеющих ресурсную перспективу по основным видам твердых полезных ископаемых
- Создание новой парадигмы развития «зеленых» геотехнологий и использования температурного ресурса их абиоты для сохранения уязвимых и малопродуктивных биологических сообществ
- Оценка и выбор технологических решений в режиме устранения причин, путем формирования структуры и сочетания технологических процессов по условиям самовосстановления естественной биоты в зоне техногенного поражения после снятия нагрузки.

6. Использование спутниковых измерений для экологического мониторинга.

Значительная неоднородность пространственного уровня фонового загрязнения атмосферы, обусловленную неравномерностью географического размещения источников загрязнения различного масштаба воздействия, предопределяет необходимость более детального изучения динамики состояния природной среды на региональном уровне с выделением локальных территорий повышенного экологического риска. Принимая во внимание, что существующая система мониторинга [19], которая не модернизировалась с 80-х годов, не способна оценить степень экологической опасности производств на территориях их размещения на локальном уровне, а также тот факт, что обширные территории Арктики труднодоступны, необходимо более широко использовать возможности спутниковых методов контроля за динамикой состояния окружающей среды в режиме реального времени. Поэтому использование современных методов дистанционного зондирования Земли и информационных технологий для крупномасштабного исследования техногенных изменений биоты, просадок грунтов в связи с деградацией многолетней мерзлоты и повышением техногенной нагрузки, измерения содержания газов в атмосфере (диоксида серы, азота, угарного газа, метана, формальдегида), тенденций распространения пожаров в районах освоения минеральных ресурсов позволяет, на первом этапе работы, получить достоверные знания, необходимые для научного обоснования концепции долгосрочных перспектив развития новых методов и технологий комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых Арктической зоны.

В рамках этого направления разработан метод дистанционного картографирования количественных критериев, характеризующих фенофазы растительности и продолжительность вегетационного периода на основе представления сезонного хода нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (NDVI) многочленами Чебышева, позволяющих оценивать динамику крупномасштабных техногенных изменений биоты в режиме реального времени. Получены закономерности изменения биоты на нескольких территориях размещения предприятий горнопромышленного комплекса, включая Арктические зоны (Рис.7-8).

Вместе с тем, разработанная методология имеет ограничения применимости на территориях, где отсутствует природная лесная растительность. Поэтому применительно к тундрам - характерного для арктических широт типа биома Западной и Восточной Сибири нами планируется выполнить исследования по выбору и адаптации других видов ДЗЗ (термодинамический индекс и энергетический подход).

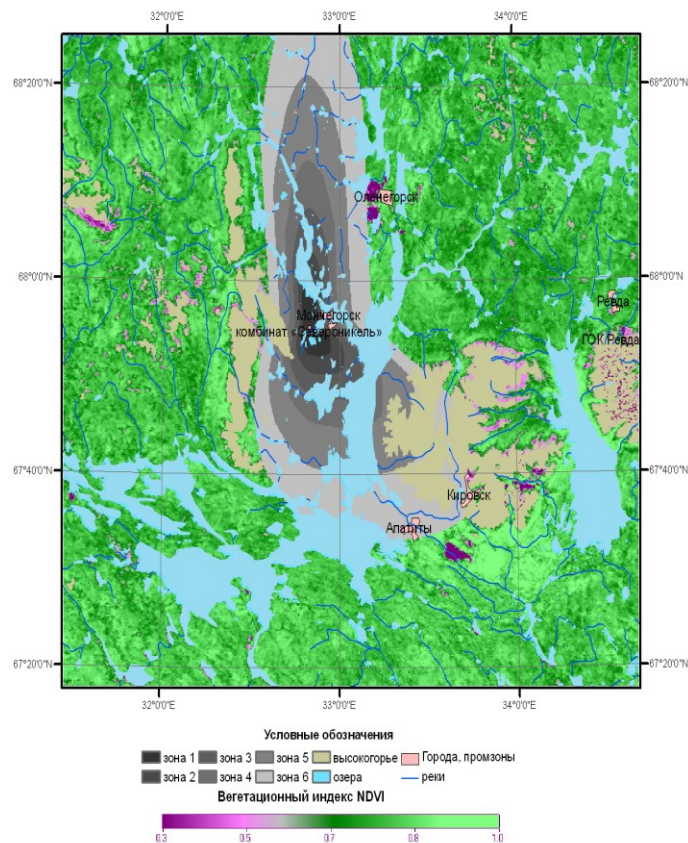


Рис.7 – Шесть зон для расчёта статистических параметров вегетационного индекса (NDVI) в районе Комбината «Североникель» и г. Мончегорск (Мурманская область).

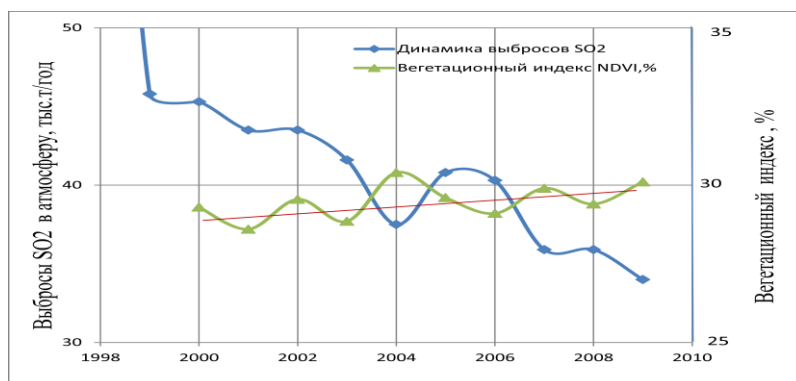


Рис.8 Изменение NDVI на фоне снижения техногенной нагрузки за 1998 – 2009 годы в районе Комбината «Североникель» (усреднение по среднегодовым композитам)

5. Заключение

Решение проблемы сохранения низкопродуктивных природных биологических систем связано с необходимостью проведения фундаментальных исследований в области техногенной эволюции литосферы Арктической зоны, как первопричины всех экологически значимых факторов, с целью разработки новых подходов к конструированию геотехнологий и оценки степени их экологической эффективности.

По главному отличительному признаку – отрицательной температуре массивов горных пород, в состав объекта исследования целесообразно включить месторождения, которые дислоцированы на территориях Субарктики, занятых сплошной многолетней мерзлотой со среднегодовыми температурами пород ниже -5°C и глубиной промерзания более 200 м. Здесь состояние многолетней мерзлоты вносит существенные ограничения при освоении месторождений. Для этих территорий, при добыче твердых полезных ископаемых, целесообразно использовать принципы построения геотехнологий на основе использования структуры естественного температурного

ресурса криолитозоны.

Сформулировано новое понятие температурного ресурса месторождения, под которым понимается интегральное единство климатически обусловленной отрицательной температуры наружного воздуха и разрабатываемого массива горных пород, используемое при создании и применении геотехнологий подземного освоения месторождений.

Для описания исходного состояния горных пород зоны сплошного распространения ММП геодинамическая модель техногенно измененных недр, выраженная через отрицательную температуру разрабатываемых массивов, рассматривается в виде идеально упругого полупространства, что значительно упрощает расчеты их устойчивости

Предложена новая парадигма развития «зеленых» геотехнологий и использования температурного ресурса их абиоты для сохранения уязвимых и малопродуктивных биологических сообществ

Сформулированы базовые основы концепции развития геотехнологий в Арктической зоне

Разработан метод дистанционного картографирования количественных критериев, характеризующих фенофазы растительности и продолжительность вегетационного периода на основе представления сезонного хода нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (NDVI) многочленами Чебышева, позволяющих оценивать динамику крупномасштабных техногенных изменений биоты в режиме реального времени.

Литература

1. Д.Д. Богоявленский. Народы Севера России: демографический профиль на рубеже веков. 2008. // Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения российской Арктики. 2008. <http://www.unrussia.ru/doc/Arctic-ru.pdf>
2. Н.Е.Шахова, В.А Юсупов, А.Н. Салюк, Д.А Космач, И.П Семилетов. Антропогенный фактор и эмиссия метана на Восточно-Сибирском шельфе //Доклады Академии наук, 2009, т. **429**, № 3, с.
4. <http://www.dissercat.com/content/izmeneniya-emissii-metana-iz-mnogoletnemerzlykh-bolot-rossii-v-usloviyakh-prognoziruemogo-kl#ixzz33Yyo3uUj>
5. Т.И. Моисеенко Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. М: Наука, 2003, 276с.
6. T.E. Graedel, C.M Benkovitz, W.C. Keene. et al. Global emission inventories of acid-related compounds // Water, Air and Soil Pollut., V. **85**.1995. P. 25-36.
7. J.C.I Kuylensstierna, M.Rodhe, S.Cinderby, K Hicks. Acidification in Developing Countries: Ecosystem Sensitivity and the Critical Load Approach on a Global Scale // AMBIO, V.**30**, N.1. 2001. P. 20-28.
8. D. Jaffe, B. Cerudolo, J. Rickers, R.Stolzberg, A. Baklanov. Deposition of sulphate and heavy metals on the Kola Peninsula // The Sci. of the Tot. Envir. V. **160-161**. 1995. P. 127-134.
9. Государственный доклад «Состояние и охрана окружающей среды на территории Российской Федерации» 1993 2012 гг. М.: Государственный центр экологических программ
10. Экологический атлас Мурманской области. Москва-Апатиты, 1999.-48 с.
11. А.П.Брюханов, Е.В. Крюков, И.М.Назаров, А.Г. Рябошапко. Оценка переноса двуокиси серы и сульфатов на территорию СССР // Тр. Института прикладной геофизики. № **41**., 1982. С.14-21.
12. L.R.Hole, V.F. Ginzburg et al. Concentration and deposition of acidifying pollutant// AMAP Assessment 2006: Acidifying Pollutants, Arctic Haze and Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2006. Oslo, Norway, P.11-30.
13. Г.В.Калабин. Экодинамика техногенных провинций. Апатиты: Изд. Кольского научного. Центра РАН. 2000. 290 с.
14. Т.И.Моисеенко Закисление вод и сопряженное поведение элементов химического состава вод// Геохимия. 2005. № **10**. С.1120-1127.

15. В.В.Гордеев, А.А.Данилов, А.В.Евсеев, Т.И. Моисеенко и др. Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (расширенное резюме) / Отв. ред. Моргунов Б.А. М.: Научный мир. 2011. 200с
16. В.А. Кудрявцев, И.Н.Достовалов, Н.Н.Романовский и др., 1978. В кн.: Общее мерзотоведение, М., Изд-во МГУ, 453
17. А.А. Васильев, Д.С. Дроздов, Г.В. Малкова, В.П. Мельников, Н.Г. Москаленко, П.Т. Орехов, А.В. Павлов, О.Е. Пономарева, Н.Г. Украинцева «Динамика криолитозоны российской Арктики в связи с изменениями климата»//Экспедиционная деятельность в рамках МПГ 2007/08. Том 2.Экспедиции 2008 г.,с.98-102.ААНИИС-П, 2009 г.
18. В. П. Мельников «Все о вечной мерзлоте»// «Ледовое побоище. Арктический шельф в мировой политике и экономике XXI века» – М.; ИД «Трибуна», 2009. – С. 219-224
19. В.П.Мельников, А.А.Васильев, Д.С. Дроздов, М.О. Лейбман, Г.В.Малкова, Н.Г.Москаленко, А.В.Павлов, В.Е. Романовский Геокриологический мониторинг, современное состояние наблюдательной сети в России, задачи и перспективы развития//Материалы Международного совещания по итогам МПГ, 2009,электроннаяверсия.