**ОТЧЕТ**

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

FSRG-2020-0018

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ ЯКУТИИ В УСЛОВИЯХ УСИЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

заключительный на тему:

СПЕЦИФИЧНОСТЬ РЕАКЦИИ АРКТИЧЕСКИХ И СУБАРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ ЯКУТИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И УСИЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Руководитель НИР, д-р биол. наук, гл. науч.сотр.–директор НИИПЭС Г.Н. Саввинов

Якутск 2022 г.

**Палеоэкология Палеонтология**

В целом, исследованные педокомплексы представлены голоценовым, сартанским и каргинскими горизонтами позднего плейстоцена - голоцена. Характерно то, что последний период (каргинский термохрон) состоит из двух теплых и одного холодного этапов, признаки которых прослеживаются во всех участках приморских низменностей. Следовательно, подобное чередование этапов широко распространено на исследуемой территории и отражает закономерности формирования педокомплексов. При этом оба теплых этапа каргинского потепления сопровождались коренной сменой не только физико-географических (со степных на лесные и лесотундровые) но и геохимических ландшафтов (Томирдиаро, 1980). Последнее проявилось в оглеенности почв подгоризонтов, а также их кислотности. Оба потепления каргинского термохрона характеризуются активным развитием озерного термокарста, подобного современному. Поэтому во многих разрезах вскрываются погребенные толщи, включающие супеси и суглинки, потерявшие лессовидный облик и обогащенные древесиной.

Тем не менее, отсутствие непрерывных данных по палеореконструкциям затрудняет воссоздание непрерывного хода климатических изменений в горных и равнинных районах Якутии.

Таким образом, изменение климата в пределах изученного временного интервала (~50 тыс. лет.) имеет как минимум пять теплых периода (оптимум голоцена, сартанский и три каргинских).

Начавшиеся в конце плейстоцена – начале голоцена изменения природной среды привели к сокращению ареалов животных мамонтового фаунистического комплекса Северной Евразии.Основными природными факторами, создававшими палеоэкологические условия обитания фауны млекопитающих на протяжении этого геологического периода, являлись: климат, изменявшийся от умеренного до холодного резко-континентального; развитие оледенений, многолетней мерзлоты и тундрово-степных ландшафтов на севере; распространение темнохвойных лесов в более южных широтах. Под влиянием изменений экологических условий обитания в сторону похолодания на протяжении конца антропогена – начало голоцена происходила адаптивная перестройка организма обитавших здесь животных. Несмотря на суровость климатических факторов мамонтовая фауна, благодаря приспособлению к новым условиям обитания в позднем неоплейстоцене достигла своего расцвета. Современный облик териофауна Якутии приобрела со среднего голоцена.

**Почвы**

На арктических и субарктических территориях Якутии при различных современных природных условиях в естественных экосистемах сформированы и функционируют почвы, имеющие существенное отличие между с собой в морфологическом строении, составам, свойствам и режимам. Учитывая последнее, проведенная нами попытка сравнительного анализа некоторых показателей разновременных почв показал их отличия морфологических признаков и содержания веществ, что выделил специфику почвообразовательных процессов при глобальном изменении климата. Так, содержание в современных почвах основных питательных элементов и веществ уступают почвам каргинских горизонтов (гл. 2). Следовательно, это свидетельствует о том, что те каргинские периоды были намного теплее нынешнего.

При таком разнообразии современных почв, их реакция на различные антропогенные воздействия в условиях меняющегося современного климата, скорее, приведет к необратимым преобразованиям современных почв и почвенного покрова. При этом, множество новообразований дополнит разные уровни систематики «новых» почв. Почвы преобразованных ландшафтов исследуемой территории в настоящее время идентифицируются только на уровне отделов; более подробная их систематика и диагностика требует дальнейших специальных проработок.

Несомненно, функционирование экосистем освоенных территорий Арктики и субарктики будет зависеть от степени преобразованности их почв и почвенного покрова – одного из основного звена экологической системы. Отличительной чертой явиться высокая активность биологических процессов, скорость миграции химических элементов и веществ за короткий промежуток времени.

**Растительность**

Относительно простая структура растительных сообществ, их малое видовое богатство, высокая степень доминантности видов и сильная зависимость от других компонентов ценозов обусловливают высокую чувствительность северных экосистем. Нарушение естественной растительности обусловливает потерю динамического равновесия между всеми структурами, ведет дестабилизацию и необратимым нарушениям во всей экосистеме.

Усиление влияния человека на природную среду приводит к изменению характера растительности вплоть до появления новых типов сообществ – синантропных, т.е. сообщества, формирующиеся либо при восстановлении растительности после ее нарушения, либо при интенсивном и постоянном антропогенном стрессе, который ведет к отбору толерантных (устойчивых) к действию этого фактора популяций местообитаниях.

На промышленных землях происходит стихийная эволюция под влиянием горных работ в результате которых возникают и фитоценозы отсутствовавшие в природе. Процесс восстановления растительности длится годами и сотнями лет и нет примера произрастания до климаксового состояния.

На рост и развитие техногенной растительности большое влияние оказывают эдафические особенности горных пород, водный режим грунтов, эрозия (ветровая, водная), рельеф поверхности отвала, степень уплотнения грунта и степень зарастания отвалов. Стадии растительной сукцессии основываются на особенностях функционирования конкретных природных биогеоценозов.

По всему Северу наблюдается «унификация» флоры и растительности нарушенных территорий. Набор видов, осваивающих антропогенные местообитания, невелик и сходен в разных районах, так что облик и строение антропогенно-производных сообществ определяются сравнительно небольшим числом видов, что и обусловливает «конвергенцию» этих сообществ в разных районах Крайнего Севера. Процессы самовосстановления замедляются в северных регионах, а там, где смена протекает по типу первичной сукцессии, «за 30–50 лет проходят только первые этапы становления растительности, предшествующие формированию замкнутых фитоценозов».

**Млекопитающие**

Особенности природно-климатических условий Якутии, а также нарастающие объемы промышленного освоения месторождений полезных ископаемых, определяют низкую естественную плотность млекопитающих, в т.ч. охотничьих видов животных.

Воздействие на млекопитающих будет постепенно возрастать по мере расширения работ по разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а также дальнейшему развитию сельскохозяйственного производства.

Сравнительный анализ воздействия широкого круга факторов при техногенном освоении территории на видовое разнообразие млекопитающих, имеющих потребительскую ценность, показал, что наибольшие последствия для этой группы имеет рост прямого преследования и усиление фактора беспокойства. Причем воздействие этих факторов наблюдается вне эколого-географической зональности, тогда как восстановление посттехногенных территорий в высоких широтах имеет четко выраженные особенности. Поскольку генезис последних не направлен на восстановления природного состояния, то и условия обитания охотничьих видов существо изменяются. Для некоторых животных, например ДСО, посттехногенные участки практически полностью теряют свою ценность, другие, например хищники, смогут их использовать, после прекращения деятельности предприятий и ликвидаций промышленных поселков.

Таким образом при техногенном освоении территории на охотничьи виды на период освоения и функционирования предприятия наибольшее воздействие оказывает прямое преследование и фактор беспокойства. Основное долговременное влияние, для всех видов без исключения имеет отторжение территории природных ландшафтов, так как восстановление населения на посттехгогенных территориях в среднетаежной зоне идет очень медленно, а на крайнем Севере, по-видимому, невозможно. В результате вся совокупность населения млекопитающих в условиях высоких широт в процессе освоения территории промышленностью претерпевает глубокие изменения, имеют, скорее всего, необратимый характер.

Анализ влияния техногенной трансформации на млекопитающих, не имеющих потребительской ценности, показал, что для них основное значение имеет отторжение природных территорий, причем глубина трансформации населения зависит от интенсивности воздействия и от широтной зональности региона. Наиболее тяжелые последствия наблюдаются при макроантропогенном воздействии. Последствия такого воздействия равнозначны в среднетаежной, северотаежной подзонах и в лесотундре. Тогда как более слабые воздействия (частичные рубки и т.д.) в средней тайге приводили в некоторых случаях к повышению показателей видоразнообразия, а в северном редколесье те же воздействия однозначно вызывали снижение анализируемых показателей.

В свою очередь восстановление население мелких млекопитающих на техногенно трансформированных территориях, также находится в зависимости от ландшафтной зональности. Если на юге среднетаежной подзоны, восстановлении хотя и едет довольно медленно, но направлено на восстановление естественного для региона сообщества , то на севере этой подзоны, восстановление идет еще медленнее и только в некоторых случаях характер восстановления позволяет предположить, что со временем естественное население восстановится. В лесотундре восстановление исходного сообщества в обозримое время не происходит

**Водные объекты**

Сохраняется актуальность в продолжении экологических исследований современного состояния уязвимых рек арктической части России, в том числе Республики Саха (Якутия).

В целом, в ходе обзора научной литературы по вопросам качества водных объектов арктической зоны РФ отмечается, что значительную долю в экологических исследованиях занимают научно-обоснованные методы контроля состояния и методы регулирования качества пресноводных экосистем, поскольку для большинства районов вопросы качества стоят более остро, чем вопросы количественной нехватки воды. Фундаментальные исследования последних лет показывают, что причины изменения качества пресноводных экосистем заключается как в привносе в водную массу веществ антропогенного происхождения, так и изменении неорганических и органических химических компонентов природной водной среды, изменении ее физических в частности температурных характеристик и других свойств пресноводной экосистемы.

Способность водных объектов к самоочищению — это уникальное природное явление, которое обусловлено целым рядом физических, химических и биологических процессов, способствующих нейтрализации загрязнителей, поступающих на поверхность водосбора и в водные объекты, и восстановлению первоначальных свойств и состава воды. Исследование механизмов очищения и возможностей поддержания этой функции — одна из важнейших природоохранных задач, находящаяся в неразрывной связи с экологическим состоянием территории в целом. В решении многих практических водохозяйственных вопросов определение самоочищающей способности водной массы является обязательной процедурой.

**Гидрохимия**

В ходе сравнительного анализа трех бассейнов рек, протекающих в арктической и субарктической зоне Якутии можно выделить следующие специфичные свойства, характерные только для данного бассейна:

- в бассейне р. Анабар исследованные воды преимущественно малой и средней минерализации, в отличие от рек бассейна р.Яна, где в природных водотоках встречаются воды повышенной минерализации. Для природных вод бассейна р. Индигирка характерны маломинерализованные воды.

- для рек бассейна р. Анабар характерны нейтральные и слабощелочные воды, в природных водах р. Яна встречаются нейтральные и слабощелочные воды, а в бассейне р. Индигирка – нейтральные и слабокислые воды. Однако, для техногенных водотоков и водоемов бассейна рр. Яна и Индигирка характерны только кислые и сильнокислые воды, вероятно, связано с рудничными и шахтными водами, которые имеют сильнокислую среду.

- в ионном составе воды рек бассейна р. Анабар характерно доминирование гидрокарбонатов, кальция и магния. Доля сульфатов значительное ниже, чем для химического состава вод бассейна р. Яна и Индигирка. В этих бассейнах доминирующую роль в анионном составе играют сульфаты. Это связано с существенной особенностью водосборов – наличием в слагающих их горных породах минералов сульфидной группы.

Таким образом, специфичность реакции водных объектов связано с формированием химического состава поверхностных вод, которые протекают в весьма разнообразных условиях: геологического строения, гидрогеологическими, климатическими условиями, особенностями водосборной площади. В тоже время в специфичность реакции добавляет антропогенное и техногенное воздействие.

Из трех исследованных бассейнов рек наименее загрязненными водотоками характеризуется арктическая часть бассейна р. Анабар. В субарктической зоне рр. Анабар и Яна, а также в арктической зоне бассейна р. Индигирка исследованные природные водотоки находятся в зоне влияния объектов накопленного экологического ущерба. Таким образом, техногенные водоемы и водотоки являются основными источниками поступления загрязняющих веществ в водные объекты бассейнов рр. Яна и Индигирка. А в бассейне р. Анабар горные разработки в руслах рек негативно воздействуют на качество водотоков.

В условиях продолжающегося антропогенного воздействия сформировалось новое антропогенно измененное состояние речных экосистем. В последнее время наблюдается постепенная антропогенная трансформация гидрохимического состояния северных рек на разных участках водотоков. Усиление антропогенной нагрузки и ухудшение качества воды происходят в первую очередь из-за поступления огромного количества загрязняющих веществ в водотоки объектами горнодобывающей промышленности. Кроме того, вариации химического состава рек имеют сезонную изменчивость, зависят от источника питания рек, поэтому в дальнейшем необходимы многолетние исследования. Расчеты комплексных показателей загрязненности водной среды арктических и субарктических зон бассейнов рр. Анабар, Яна и Индигирка показали, что изменчивость доли и степени антропогенного воздействия определяются неоднородностью характера и интенсивности антропогенного воздействия. По рассчитанному коэффициенту распределения металлов в донных отложениях бассейна рр. Анабар, Яна и Индигирка преимущественно характерны минимальные значения миграционной способности, что свидетельствуют о процессе десорбции металлов из донных отложений в воду. Данный факт говорит о том, что донные отложения водотоков арктической и субарктической зоны бассейнов рр. Анабар, Яна и Индигирка могут являться источниками вторичного загрязнения водной толщи железом, медью, свинцом, марганцем, никелем, кадмием, кобальтом, хромом и цинком, особенно при проведении горнодобычных работ. Кроме того, донные отложения техногенных водотоков и водоемов оказывают потенциально негативное воздействие на качество вод. Поэтому, необходимо учитывать процесс вторичного загрязнения речных вод от донных отложений при расстановке приоритетов в водоохранной политике и разработке мероприятий, направленных на сохранение водных экосистем арктических и субарктической зоны Якутии.

В целом, на основе рангового коэффициента корреляции Кендалла получены следующие результаты: в р. Лена отмечается увеличение антропогенной нагрузки в отличие от р. Колыма. Изменение климата показывает увеличение периода нитрификации (дольше работают нитрифицирующие бактерии в почве и водной среде) в рр. Лена и Колыма. Следует также отметить, при возрастающем тренде содержания нитратов в р. Колыма процесс изменения климата в данном бассейне идет значительно быстрее, чем в бассейне р. Лена, так как период нитрификации увеличен, в отличие от р. Лена, где нитриты не переходят в нитраты.

**Ихтиофауна**

При разработке месторождений полезных ископаемых естественные водотоки подвергаются значительному воздействию, т.к. технология добычи и обогащения так или иначе связана с водной средой. В Арктике и Субарктике самоочищение водоемов от загрязняющих веществ происходит крайне медленно, и следы загрязнения обнаруживаются на значительном удалении.

На данный момент антропогенное влияние на ихтиофауну бассейна реки Марха слагается из нескольких основных факторов. Их условно можно разделить на влияние городов и поселений и влияние промышленных предприятий. Жители населенных пунктов активно ловят рыбу, особенно этот процесс усилился в последние годы, когда для населения стали доступны вездеходная и качественная водномоторная техника. Если ранее многие участки данной протяженной и крупной по площади бассейна реки попросту не облавливались в силу удаленности, то сейчас не облавливаемых участков практически нет. На сегодняшний день, наряду с влиянием промышленности, непосредственный вылов является одним из самых значимых антропогенных факторов, влияющих на ихтиофауну реки.

Негативное влияние промышленных предприятий на ихтиофауну реки Марха определенно есть, но по сравнению с 80-ми годами прошлого столетия, когда отходы предприятий сливались напрямую в реку, это воздействие относительно сократилось. Связано это в первую очередь с тем, что с развитием общества и науки, а также и накоплением массива данных по экологии, развилось природоохранное законодательство. Значимую роль сыграло и давление общественности. Важно отметить, что хранилища отходов промышленных предприятий представляют собой постоянную угрозу всему биоценозу бассейнов рек. Необходимо постоянно проводить комплекс природоохранных мероприятий для предотвращения аварийных ситуаций.

Еще одним фактором антропогенного воздействия явилось появление нехарактерных, инвазивных для естественной ихтиофауны региона видов. Подобные факты отмечены нами в реке Марха. Для региона данные примеры не единичны (Кириллов, 2022).Продолжается процесс трансформации ихтиофауны. Высказываются предположения, что расширение ареалов инвазийных видов связано с общим потеплением климата в Арктической зоне.

Исследования, проведенные нами на притоках р. Анабар, показали, что в зонах воздействия и рассеяния, изменяется содержание металлов в органах и тканях рыб. У рыб, обитающих на участках разработки россыпных месторождений алмазов появляются аномалии во внешнем и внутреннем строении тела. Наиболее часто встречаются отклонения от нормы в печени и почках – органах детоксикации и выведения, и в жабрах - органе дыхания. Выявленные отклонения от нормы в морфологии органов рыб и в содержании в тканях различных органов тяжелых металлов являются репрезентативными индикаторами экологического состояния исследованных рек Якутии.

На примере реки Иргичэн отмечена реакция рыб на изменяющийся во времени уровень негативного влияния промышленности. Во время активной фазы добычи оловянной руды и функционирования Депутатского ГОКа рыба в реке не обитала. Затем, со снижением антропогенного воздействия мы отметили достаточно быстрое появление двух видов рыб и новое освоение нагульных площадей реки. Кроме того, выявлены некоторые приспособительные реакции представителей ихтиофауны на продолжающееся остаточное воздействие.

**Гидробиология**

Относительно простая структура растительных сообществ, их малое видовое богатство, высокая степень доминантности видов и сильная зависимость от других компонентов ценозов обусловливают высокую чувствительность северных экосистем. Нарушение естественной растительности обусловливает потерю динамического равновесия между всеми структурами, ведет дестабилизацию и необратимым нарушениям во всей экосистеме.

Усиление влияния человека на природную среду приводит к изменению характера растительности вплоть до появления новых типов сообществ – синантропных, т.е. сообщества, формирующиеся либо при восстановлении растительности после ее нарушения, либо при интенсивном и постоянном антропогенном стрессе, который ведет к отбору толерантных (устойчивых) к действию этого фактора популяций местообитаниях.

На промышленных землях происходит стихийная эволюция под влиянием горных работ в результате которых возникают и фитоценозы отсутствовавшие в природе. Процесс восстановления растительности длится годами и сотнями лет и нет примера произрастания до климаксового состояния.

На рост и развитие техногенной растительности большое влияние оказывают эдафические особенности горных пород, водный режим грунтов, эрозия (ветровая, водная), рельеф поверхности отвала, степень уплотнения грунта и степень зарастания отвалов. Стадии растительной сукцессии основываются на особенностях функционирования конкретных природных биогеоценозов.

По всему Северу наблюдается «унификация» флоры и растительности нарушенных территорий. Набор видов, осваивающих антропогенные местообитания, невелик и сходен в разных районах, так что облик и строение антропогенно-производных сообществ определяются сравнительно небольшим числом видов, что и обусловливает «конвергенцию» этих сообществ в разных районах Крайнего Севера. Процессы самовосстановления замедляются в северных регионах, а там, где смена протекает по типу первичной сукцессии, «за 30–50 лет проходят только первые этапы становления растительности, предшествующие формированию замкнутых фитоценозов».