

№8 1999 год

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ГЕНОФОНД ЧЕЛОВЕКА: ОПЫТ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из основных проблем мировой экологии является выяснение последствий антропогенного загрязнения окружающей среды, что несет большую опасность ныне живущим и будущим поколениям. Поиск решений этой сложной, многосторонней проблемы возможен только при выборе соответствующих объектов и регионов исследований и объединении усилий квалифицированных специалистов разного профиля.

Высокоширотные районы Западной Сибири в настоящее время подвергаются мощному прессу негативных техногенных воздействий в связи с их интенсивным нефтегазовым освоением, а также в связи с последствиями испытаний ядерных устройств на Северном (Новоземельском) полигоне, расположенном в непосредственной близости к континентальной Сибири.

Коренные народности Севера, живущие в экстремальных климатических условиях, на протяжении долгого времени приспосабливались к гармоничному сосуществованию с природой, вырабатывая особую стратегию поведения по отношению к окружающей среде. Ухудшение экологической обстановки особенно болезненно сказывается на этих народностях и ставит под угрозу уже само их существование.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существует ряд факторов, способствующих тому, что в качестве объекта научного исследования была выбрана популяция тундровых ненцев Пуровского района Тюменской области Ямало-Ненецкого автономного округа:

- непосредственная близость источников мощных техногенных воздействий (комплекс нефтегазодобывающих и перерабатывающих предприятий, предприятия цветной металлургии и испытательный полигон ядерных устройств на Новой Земле);
- сравнительно небольшая численность исследуемой группы (около 2000 человек), ее этническая однородность и незначительная миграция за пределы исследуемого региона;
- хорошая популяционно-генетическая изученность этой группы, что позволяет проводить ее генетико-демографический мониторинг с 1992 г. и осуществлять планомерные медико-генетические и семейные исследования;
- относительная "простота" пищевых цепей: ягель – олень – человек; вода – рыба – человек.

Краткие сведения о популяции. Тундровые ненцы принадлежат к северо-самодийской ветви уральской языковой семьи, а по антропологическим признакам являются представителями уральской расы, в которой присутствуют как монголоидные, так и европеоидные черты. Это оленеводы и рыбаки-охотники, которые ведут, в основном, кочевой образ жизни и в настоящее время по образу жизни и популяционной структуре существенно приближены к "природному" типу популяций человека.

Территория проживания тундровых ненцев представляет ареал площадью около 100 тыс. км². В этой группе сохранено ее "генетическое ядро", доля мигрантов извне и за пределы территории проживания невелика. Популяция – растущего типа с большой долей ее дорепродуктивной части и достаточно большим репродуктивным объемом (Посух и др., 1996). Получены первичные данные о генетических системах крови (Осипова и др., 1996).

Основанием для проведения дальнейших экологических и медико-генетических исследований стала информация о том, что в регионе резко увеличилась смертность от онкологических заболеваний, что ранее было несвойственно коренным жителям, а также общая заболеваемость населения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

I. Медико-генетические исследования

Цитогенетические исследования. В процессе экспедиционных исследований у 170 тундровых ненцев, практически здоровых на момент обследования, получены лимфоциты периферической крови, стимулированные к делению фитогемагглютинином. Культивирование лимфоцитов осуществлено стандартным методом. Фиксация культур проводилась на 48-м часе культивирования. При анализе учитывался весь спектр структурных aberrаций хроматидного и хромосомного типов, принятых в качестве критериев оценки мутагенного воздействия. У каждого человека в среднем анализировалось 100 метафаз. Абсолютное большинство обследованных лиц родились и постоянно проживают в Пуровском районе. В исследованной выборке выделена группа детей (N=56), родившихся в 1980 г. и позднее.

В качестве контроля использовались общемировые литературные данные, по которым, в зависимости от экологической обстановки и природного радиационного фона, общая частота хромосомных aberrаций (ХА) колеблется в диапазоне 0–1.5%, частота радиационных маркеров (кольца и дицентрики) – 0.05–0.21%, составляя в среднем 0.078% (Pohl-Ruling, 1990), а для России – 0.05–0.1% (Бочков, 1993).

Результаты цитогенетического анализа выявили значительную хромосомную нестабильность популяции тундровых ненцев: доля индивидуумов с превышением верхней границы контрольного уровня ХА (1.5%) составляет около 34% у детей и 76% у взрослого коренного населения Пуровского района. Более детальные сведения о результатах цитогенетического анализа в пос. Самбург представлены в таблице 1.

Таблица 1

Хромосомные aberrации (ХА) в популяции пос. Самбург

	N	Число метафаз	Общее число aberrантных клеток, % (довер. интервал)	Клетки с кольцами и дицентриками, % (довер. интервал)
Вся выборка	170	18406	588 3.19% (2.9%-3.4%)	83 0.45% (0.36% — 0.55%)
Взрослое население	114	12310	444 3.61% (3.3% — 3.9%)	70 0.57% (0.44% — 0.71%)
Дети	56	6096	144 2.36% (2.0% — 2.8%)	13 0.21% (0.11% — 0.34%)

Во всей выборке (N=170) общая частота ХА (3.19%) и частота колец и дицентриков (0.45%) достоверно ($p < 0.001$) превышают верхние границы условно принятой нормы этих показателей (1.5% и 0.1% соответственно). У взрослой части населения эти показатели еще более высоки – 3.61% и 0.57%.

В группе детей (N=56) общая частота ХА составила 2.36%, что также достоверно ($p < 0.05$) превышает контрольный уровень. У 13 из 56 обследованных детей (23% выборки) обнаружены кольца и дицентрики. Средняя частота радиационных маркеров у детей Самбурга составляет 0.21%, что вдвое превышает верхние границы условного контрольного уровня. Подобные цитогенетические исследования были проведены у детей со множественными пороками развития (МПР) и атипичной желтухой новорожденных (АЖ), проживающих, как и их родители, в Алтайском крае вблизи Семипалатинского ядерного полигона. Было показано, что общая частота ХА у больных детей с МПР и АЖ составляет 2.8% и 2.7% соответственно, причем до 40% всех aberrаций были хромосомного типа (разрывы, обмены, кольца) (Матвеева и др., 1993). Таким образом, у детей Самбурга уровень хромосомной нестабильности сопоставим с таковым у детей с МПР и АЖ, живущих в зоне радиационного загрязнения на Алтае. Хотя размер обследованной выборки детей Самбурга невелик (N=56), полученные данные могут указывать как на вероятность передачи в ряду поколений генетических повреждений, так и на то, что в настоящее время существуют неблагоприятные экологические факторы, влияющие на стабильность хромосомного аппарата клетки.

Изученная выборка (N=170) была разделена на три условные группы в зависимости от уровня общей частоты ХА: I – лица с контрольным уровнем ХА ($ХА \leq 1.5\%$); II – лица с умеренным увеличением частоты ХА ($1.5\% < ХА \leq 3\%$); III – лица с высоким уровнем частоты ХА ($ХА > 3\%$) (рис. 1а). Только 38% людей имеют уровень ХА, не превышающий контрольного, у 27% обследованных лиц наблюдается умеренное увеличение частоты ХА, а у 35% уровень ХА, как минимум, вдвое превышает контрольный. Кроме того, число лиц с радиационными маркерами (кольца и дицентрики) в группе I составляет 9%, в группе II – 39% и в группе III – 53% от числа людей в каждой группе соответственно. Таким образом, можно отметить тенденцию к увеличению числа радиационных маркеров при возрастании общей частоты ХА в обследованных группах.

На рисунках 1б и 1в представлены отдельно данные по коренному взрослому населению и детям. Видно, что у детей по сравнению со взрослыми результаты обследования выявили некоторую положительную динамику: группа, соответствующая норме, почти вдвое превышает группу с повышенным уровнем хромосомной нестабильности. В связи с этим представляется крайне важным продолжить мониторинг группы детского населения более младшего возраста.

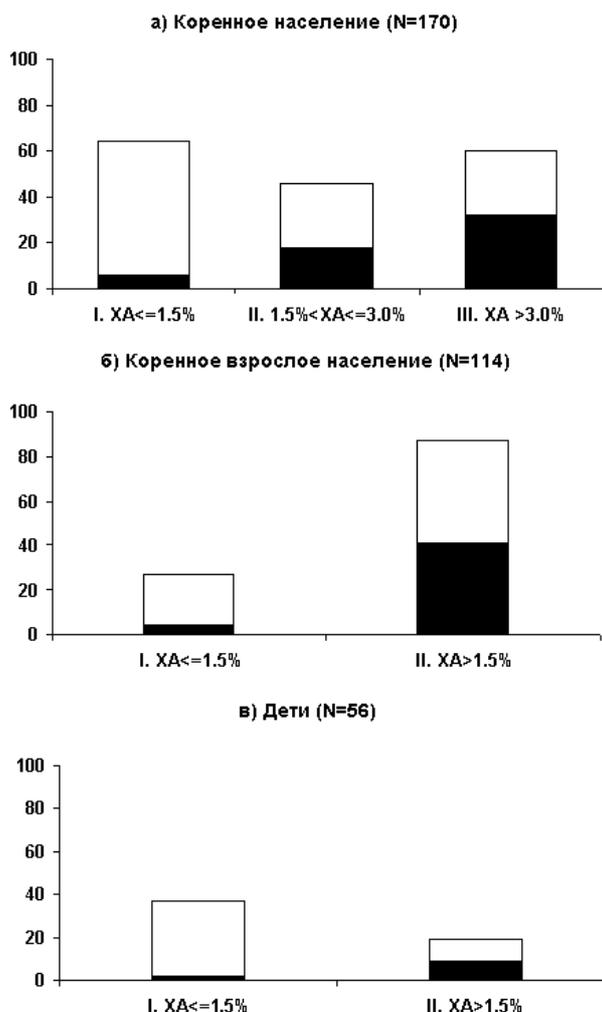


Рис. 1. Распределение исследованной выборки в зависимости от общей частоты хромосомных aberrаций (XA): а) общая выборка тундровых ненцев (N=170); б) взрослая часть выборки (N=114); в) дети (N=56). По оси абсцисс – условно выделенные группы обследованных. По оси ординат – количество человек. Черным цветом показана доля индивидов, имеющих кольца и дицентрики.

Другие исследования в рамках эпидемиологического скрининга. При терапевтическом и иммунологическом обследовании коренного населения с целью выявления вторичных иммунодефицитных состояний (ВИДС) обнаружено, что среди людей с ВИДС в 1.7 раза чаще встречаются лица, имеющие хромосомные нарушения типа колец и дицентриков, чем среди людей, формирующих просто "группу риска" по хроническим заболеваниям. Изучение показателей периферической крови у 90 случайно выбранных человек выявило определенные изменения общих показателей крови, которые ранее обнаруживались у населения районов, затронутых радиационными воздействиями. В Самбурге 17% обследованных лиц имеют максимально выраженные отклонения от "региональной нормы", заключающиеся в сниженном содержании гемоглобина, лейкоцитов, а также в нарушении формы эритроцитов, и только 24% людей имеют нормальные показатели. Предварительный анализ структуры заболеваемости и смертности населения Самбургской тундры по данным медстатистики Пуровской ЦРБ выявил резкий рост смертности от онкологических заболеваний, ранее не свойственных коренному населению региона, причем в 50% случаев – это рак органов пищеварения.

II. Оценка радиационной ситуации в регионе исследования

В выборку компонентов биогеоценоза вошли лесные подстилки, мхи, лишайники, торфы и донные отложения, а также некоторые образцы растительности, служащей пищей для оленей в летние периоды. В северных и южных стадах района отобраны пробы оленьины – основной пищи тундровых ненцев. ^{137}Cs определен гамма-спектрометрическим, ^{90}Sr -бета-радиометрическим методами в Аналитическом центре ОИГГМ СО РАН (Новосибирск). Все данные приводятся в пересчете на воздушно-сухую массу. Исключение представляют только образцы различных органов оленей, проанализированных в естественном состоянии.

Проблеме "ягель – олень – человек" посвящено огромное количество работ как в России, так и за рубежом, но все они относятся к 60-70 годам (Liden, 1961; Нижников и др., 1969; Holleman et al., 1971; Моисеев, Рамзаев, 1975 и т.д.). Современное состояние радиоактивного загрязнения Севера изучено крайне слабо.

Присутствие ^{137}Cs обнаружено во всех 94 точках наблюдения. Его активность, как это видно из данных таблицы 2, в однотипных компонентах биогеоценоза колеблется в широком диапазоне. Несомненно, эти вариации в первую очередь обусловлены неравномерным выпадением радиоактивных осадков, отмечаемым всеми исследователями радиэкологических проблем. Однако и видовой состав растений играет весьма заметную роль. Так, в различных видах лишайников Пуровского района, собранных на площади 10м x 10м, разброс значений активности ^{137}Cs составляет 58–144 Бк/кг.

С данными о меньшей загрязненности северных территорий России по сравнению с южными районами (Троицкая и др., 1971) не согласуются полученные нами значения активности ^{137}Cs в лишайниках. Так, в одном и том же виде лишайника *Cladina stellaris* в Пуровском районе обнаружено в среднем 118.2 Бк/кг, а на Алтае, регионе, наиболее пострадавшем от испытаний на Семипалатинском полигоне, – 38 Бк/кг. Аналогичное замечание следует отнести и к лесным подстилкам – субстрату, на котором произрастают лишайники (320 и 130 Бк/кг соответственно).

Обращает на себя внимание достаточно высокая активность ^{137}Cs в оленине (табл. 2). Конечно, средние значения не достигают допустимых уровней, однако постоянное употребление в пищу мяса и других органов оленей служит хроническим источником внутреннего облучения тундровых ненцев. А такие значения, как 1200 Бк/кг в одной пробе вяленого мяса, которое составляет значительную часть летнего рациона коренных жителей, должны быть признаны чрезвычайно опасными.

Таблица 2

Пределы активности ^{137}Cs в компонентах биогеоценоза Пуровского района

Компоненты	^{137}Cs , Бк/кг среднее значение
Лесные подстилki	320 (19-610)
Мхи	89.2 (2-738)
Лишайники	118.2 (9-372)
Торфы	130 (60-200)
Донные отложения	59 (33-102)
Грибы белые	169.5 (120-219)
Листья ольхи и березы	64
Хвощи	41.7 (8-76)
Мясо оленя	162.1 (66-315)
Печень	71.4 (30-131)
Почки	163.9 (46-370)
Легкие	54.0 (30-82)
Сердце	74.8 (47-99)
Костный мозг	14.7 (2-38)
Костная ткань	22.4 (5-57)

В скобках – пределы содержания.

В целом оленина из северных стад (пос. Самбург) загрязнена радиоцезием меньше, чем в южных стадах – 88,3 и 203,5 Бк/кг соответственно. Для сравнения: в баранине и говядине с Алтая ^{137}Cs не обнаружен.

Следует отметить и еще одно обстоятельство. В органах молодых оленей ^{137}Cs накапливается заметнее, чем у старых. Например, в мясе теленка (9 месяцев) обнаружено 256 Бк/кг ^{137}Cs , а у 6-летнего быка из того же стада – 141 Бк/кг; соответственно в печени – 131 Бк/кг и 51 Бк/кг, в почках – 370 Бк/кг и 141 Бк/кг, в костях – 43 Бк/кг и 23 Бк/кг. Этот пример не единичен.

Что касается ^{90}Sr , то его активность в мягких тканях оленей ничтожна и в северных стадах колеблется от 0.25 до 1 Бк/кг, в костной ткани существенно выше – 54.5–103.4 Бк/кг. По южным стадам данные отсутствуют.

III. Результаты изучения атмосферных процессов

Относительный состав атмосферных аэрозолей (АА) в Западной Сибири. Атмосферные процессы, определяющие транспорт аэрозолей (в локальном, региональном и глобальном масштабах), как правило, определяют уровни загрязнения всех частей биосферы наиболее опасными экотоксикантами, такими как радионуклиды, канцерогены, пестициды и др.

В 1995–1998 гг. проведено исследование многоэлементного состава АА в Пуровском районе в летний и зимний периоды. Использование синхротронного излучения позволило одновременно определить в аэрозольных частицах свыше 30 элементов от Са до U (Кученогий и др., 1998; Осипова и др., 1998).

Проведено определение абсолютных значений массовых концентраций “техногенной” и почвенно-эрозийной компонент химического состава АА на юге и севере Западной Сибири. Показано, что концентрация техногенных элементов на Севере близка к величинам, наблюдаемым на юге Западной Сибири. В то же время концентрация элементов, образующихся при почвенной эрозии, на севере в 6–20 раз ниже, чем на юге (для зимнего периода). Эти результаты показывают, что уровень загрязнения Западной Сибири элементами техногенной природы формируется процессами глобального масштаба и мощность воздействия техногенного влияния на севере соизмерима с нагрузкой для промышленных районов Сибирского региона.

Результаты факторного анализа многоэлементного состава, приведенные в таблице 3, позволяют выделить основные типы источников, определяющих уровень загрязнения окружающей среды Пуровского района. Из техногенных источников удается выделить автотранспорт, а также предприятия энергетического комплекса и цветной металлургии.

Таблица 3

	Элементы	Тип источника
1 фактор	Ca, Fe, Zn	Почвенно-эрозионный
2 фактор	Se, Br, Pb	Автотранспорт
3 фактор	Ni, Cu	Цветная металлургия, энергетика

Ионный состав АА осадков и поверхностных вод. Известно, что бурное развитие промышленности в Западной Европе привело к появлению так называемых “кислотных” дождей, особо значимых в северной части континента (Henricsen, 1980; Израэль и др., 1989). Это привело к деградации биогеоценозов, массовой гибели рыбы и т.д. и потребовало значительных капитальных вложений в работы по рекультивации водоемов Северной Европы. Предполагалось, что проблема может иметь место и на севере Западной Сибири. Поэтому было проведено одновременное определение ионного состава АА, осадков и поверхностных вод, что позволило оценить степень опасности закисления водоемов Пуровского района и негативных последствий как для обитателей водоемов, так и для здоровья населения в связи с усиленной миграцией тяжелых металлов по пищевым цепям через потребляемую для питья и приготовления пищи воду.

Было показано, что при pH снежных выпадений, равном 4.37, достаточно его уменьшения всего на 5%, чтобы водная среда одного из озер вблизи пос. Самбург попала в критическую область (Осипова и др., 1998).

При определении жесткости поверхностных вод показана хрупкость состояния водной экосистемы в Пуровском районе. Оказалось, что буферная емкость реки Пур в 6–7 раз ниже, чем в реках Западной Сибири (Оби и Берди). Буферная емкость озера вблизи пос. Самбург в 5 раз меньше буферной емкости озера Байкал и примерно в 20 раз ниже емкости рек Западной Сибири. В то же время кислотность выпадающих на севере Западной Сибири осадков больше, чем на юге. Последнее связано с тем, что нейтрализация выпадающих осадков на юге Западной Сибири во многом определяется захватом минеральной компоненты АА, образующейся в результате почвенной эрозии. Как показывают результаты приведенного выше анализа, этот фактор компенсации кислотности осадков на севере Западной Сибири сильно ослаблен. Таким образом, вероятность проявления феномена “кислотных дождей” в Пуровском районе намного выше, чем в промышленных районах юга Западной Сибири и может привести (и уже приводит) к деградации экосистем.

Математическое моделирование дальнего переноса. Для оценки возможности дальнего переноса техногенных загрязнений в район наблюдений были проведены предварительные расчеты траекторий воздушных масс для зимнего и летнего периодов. Рассчитывались десятисуточные климатические обратные траектории с использованием базы метеорологических данных, созданной в Национальных Центрах Прогноза Окружающей Среды (НЦПОО, США), для зимнего и летнего сезонов (Rivin, Klimova, 1997; Ривин и др., 1998).

Результаты этих расчетов показали, что в зимний период (декабрь, январь, февраль) техногенные примеси могут переноситься в Пуровский район и из промышленных районов Европы, и из промышленных центров европейской части России, а также Урала. В летний период (июнь, июль, август) атмосферная циркуляция в климатическом аспекте, по-видимому, в большей степени связана с источниками техногенных выбросов регионального масштаба (Осипова и др., 1998). В частности, траектория воздушных масс для этих месяцев проходит через остров Новая Земля. Можно предположить, что аналогичная закономерность имела место и в 1957–1962 гг. (период активных ядерных испытаний в атмосфере на полигоне “Северный”), формируя определенную лучевую нагрузку на население и компоненты природы Пуровского района.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные предварительные результаты экологических исследований однозначно свидетельствуют о том, что высокоширотные районы Западной Сибири в настоящее время находятся под мощным прессом техногенных воздействий, связанных как с источниками локального характера, так и процессами переноса различных экотоксикантов в региональном и глобальном масштабах (Осипова и др., 1998; Osipova et al., 1998).

Анализ атмосферных аэрозолей и отдельных компонентов биогеоценоза показал весьма существенное загрязнение их как искусственными радионуклидами, так и тяжелыми металлами. Особо следует подчеркнуть повышенную загрязненность радиоцезием лишайников Пуровского района. Основное поступление Cs-137 в организм коренных жителей оленеводов происходит через мясо оленей, которое служит их основным продуктом питания. Инкорпорированный радиоцезий является источником постоянного внутреннего облучения, что, несомненно, оказывает отрицательное влияние на здоровье человека, для которого пищевая цепочка начинается с ягеля.

Масштаб выявленных цитогенетических нарушений, вторичных иммунодефицитных состояний, определенные изменения общих показателей крови, а также сходство этих нарушений с таковыми у жителей радиационно пострадавших районов позволяет нам предположить, что радиационный фактор, вызванный последствиями испытаний ядерных устройств на полигоне “Северный”, в настоящее время вносит основной вклад в ухудшение состояния здоровья коренных жителей Севера. Это, однако, не умаляет негативной роли и других экологических факторов. Пуровский район не относится к промышленно развитым регионам, однако постоянное сжигание попутного газа при разработке месторождений углеводородов, региональный и глобальный перенос

выбросов тяжелой и цветной металлургии вносят ощутимый вклад в загрязнение его территории тяжелыми металлами. Наиболее вероятными источниками загрязнений следует признать выбросы промышленных центров Норильска, Урала, а также Западной Европы.

Географические и климатические особенности севера Западной Сибири способствуют возможности проявления "кислотных" дождей. Предварительные данные об ионном составе атмосферных аэрозолей, снежных выпадений и поверхностных вод показали, что для исследуемого региона существует высокая опасность закисления поверхностных вод при воздействии атмосферных осадков в силу их низкой буферной емкости. В результате повышения кислотности почвенных и поверхностных вод увеличивается миграционная способность многих элементов (в том числе и токсичных металлов), способных накапливаться в трофических цепях.

Определены подходы к решению важной проблемы, которой является оценка областей, влияющих на состояние окружающей среды Пуровского района. Начата работа по построению обратных траекторий по фактическим и климатическим метеорологическим данным для восстановления путей воздушного переноса в исследуемом регионе. Разработаны модели восстановления полей загрязнения от локальных и региональных источников.

Полученные первичные результаты требуют подтверждения статистически достоверными материалами, что позволит конкретно применить уже разработанные методы и подходы в моделировании последствий многофакторной техногенной нагрузки на генофонд и здоровье человека. Первые результаты, полученные в ходе выполнения работ по проекту, показали высокую эффективность и целесообразность таких комплексных исследований, в которых принимают участие специалисты разного профиля.

Литература

1. Бочков Н.П. Аналитический обзор цитогенетических исследований после Чернобыльской аварии // Вестник РАМН. – 1993. – № 6. – С. 51–56.
2. Израэль Ю.А., Назаров Н.М., Прессман А.Я., Ровинский Ф.Я., Рябошапка А.Г. Кислотные дожди. – Л.: ГИМИЗ, 1989. – 269 с.
3. Коптюг В.А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию. – Новосибирск: СО РАН, 1993. – 62 с.
4. Куценогий К.П., Ковальская Г.А., Смирнова А.И., Макаров В.И., Осипова Л.П., Посух О.Л., Морозов С.В., Вялков А.И. Химический состав атмосферных аэрозолей на севере Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. – 1998. – Т. 11, № 6. – С. 625–631.
5. Матвеева В.Г., Саблина О.В., Еремина В.Р. и др. Цитогенетика врожденной патологии у населения Алтая в зонах радиационного загрязнения // Генетические эффекты антропогенных факторов среды. – Новосибирск, 1993. – Вып. 1. – С. 5–17.
6. Моисеев А.А., Рамзаев П.В. Цезий-137 в биосфере. – М.: Атомиздат, 1975. – 182 с.
7. Нижников А.И., Невструева М.А., Рамзаев П.В. и др. Цезий-137 в цепочке лишайник – олень – человек на Крайнем Севере СССР (1962–1968 гг.). – М.: Атомиздат, 1969. – 16 с.
8. Осипова Л.П., Посух О.Л., Ивакин Е.А., Крюков Ю.А., Карафет Т.М. Генофонд коренных жителей Самбургской тундры // Генетика. – 1996. – Т. 32, № 6. – С. 830–836.
9. Осипова Л.П., Посух О.Л., Матвеева В.Г., Пономарева А.В., Сухоруков Ф.В., Щербов Б.Л., Страховенко В.Д., Куценогий К.П., Рапута В.Ф., Смоляков Б.С., Ривин Г.С., Климова Е.Г. Комплексная оценка влияния техногенных воздействий на генофонд и биологическое здоровье человека (на примере тундровых ненцев) // Интеграционные программы фундаментальных исследований. – Новосибирск: СО РАН, 1998. – С. 327–342.
10. Посух О.Л., Осипова Л.П., Крюков Ю.А., Ивакин Е.А. Генетико-демографический анализ популяции коренных жителей Самбургской тундры // Генетика. – 1996. – Т. 32, № 6. – С. 822–829.
11. Ривин Г.С., Климова Е.Г., Куликов А.И. Оценка влияния климатических метеоусловий на картину распространения аэрозолей в Сибирском регионе // Оптика атмосферы и океана. – 1998. – Т. 11, № 6. – С. 561–566.
12. Троицкая М.Н., Рамзаев П.В., Моисеев А.А. и др. Радиоэкология ландшафтов Крайнего Севера // Современные проблемы радиобиологии. Т. 2. Радиоэкология. – М.: Атомиздат, 1971. – С. 325–353.
13. Henriksen A. Acidification of fresh waters – a large scale titration // Proc. Intern. Conf. Impact Acid Precip. SNSF Project, Norway, 1980. – P. 68–74.
14. Holleman D.F., Luijk J.R., Whicher F.W. Transfer of radiocesium from lichen to reindeer // Health Phys. – 1971. – Vol. 21, № 5. – P. 657–666.
15. Liden K. Cs137 burdens in Swedish laplanders and reindeer // Acta Radiolog. – 1961. – № 56. – P. 64–65.
16. Osipova L.P., Posukh O.L., Sukhorukov F.V., Shcherbov B.L., Koutzenogii K.P., Ponomareva A.B., Matveeva V.G. Comprehensive assessment of technogenic effects on the gene pool and biological status of the Tundra Nentsi, aboriginal northerners (Purovsky

Rayon, Tyumen Region) // Abst. to First Russian SETAC Symposium On Risk Assessment For Environmental Contamination, Sankt-Peterburg, 14-17 June 1998. – P. 165–166.

17. Pohl-Ruling J. Chromosome aberrations of blood lymphocytes induced by low-level doses of ionizing radiation // Advances in mutagenesis research. 2 / ed., G.Obe. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. – 1990. – P. 155–190.

18. Rivin G.S., Klimova E.G. Assimilation system, atmospheric modelling and ecological problems for Siberian region using NCEP Reanalysis data // Abstract Digest of the First International Conference on Reanalysis, 27-31 October 1997. – Silver Spring, Maryland, USA. – P. 162.

Л.П.Осипова, О.Л.Посух, А.В.Пономарева, О.В.Саблина, П.Л.Перельман,
Институт цитологии и генетики СО РАН

Б.Л.Щербов, В.Д.Страховенко, Ф.В.Сухоруков,
Аналитический центр Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН

К.П.Куценогий,
Институт химической кинетики и горения СО РАН

В.Г.Матвеева,
Государственный новосибирский областной диагностический центр

Г.С.Ривин,
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Б.С.Смоляков
Институт неорганической химии СО РАН