

## Биологические науки

УДК 504.064:631.438:533.679(571.56)

### Влияние радионуклидов $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ на микробное сообщество почв территории объекта подземного ядерного взрыва «Кратон-3» (Якутия)



© **Ерофеевская** Лариса Анатольевна, научный сотрудник Института проблем нефти и газа СО РАН (Якутск). Контактный телефон/факс: +7 (4112) 39 06 20, +7 924 568 23 44. E-mail: lora-07.65@mail.ru.

© **Александров** Александр Романович, научный сотрудник Института проблем нефти и газа СО РАН (Якутск). Контактный телефон/факс: +7 (4112) 33 65 96, +7 914 264 23 86. E-mail: nopeg@ipng.ysn.ru.

Впервые проведены микробиологические исследования почвогрунтов территории подземного ядерного взрыва «Кратон-3» (Якутия). Установлено, что почвы участка обладают токсичностью по отношению к микро- и макрофлоре, подавляют всхожесть семян, развитие зеленой части проростков и корневой системы растений. С научно-практических подходов необходимо дальнейшее изучение и оценка фактологического потенциала радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на микробное сообщество с целью оценки экологической опасности или безопасности хранилищ радиоактивных отходов и их возможного влияния на здоровье людей, животных и, в целом, окружающей среды в северных широтах.

**Ключевые слова:** радионуклиды, микро- и макрофлора, бактерии, грибы, экологическая безопасность.

## The influence of radio nuclides $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ on the soil microbial community on the territory of the underground nuclear explosion 'Kraton-3' (Yakutia)

© *Erofeevskaya* Larisa Anatolievna, scientific fellow of the Institute of Problems of oil and gas SB RAS (Yakutsk). Contact phone/fax: +7 (4112) 39 06 20, +7 924 568 23 44. E-mail: lora-07.65@mail.ru.

© *Aleksandrov* Alexander Romanovich, scientific fellow of the Institute of Problems of oil and gas SB RAS (Yakutsk). Contact phone/fax: +7 (4112) 33 65 96, +7 914 264 23 86. E-mail: nopeg@ipng.ysn.ru.

### Abstract

It was first conducted the microbiological studies of the soils in the underground nuclear explosion 'Kraton-3' (Yakutia). It was found that the soil area has toxicity to micro-and makroflora, inhibit seed germination, seedling development of the green part and the root system of plants. With theoretical and practical approaches, it is necessary to further study and evaluate the factual capacity of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in the microbial community to assess the environmental hazard or safety of radioactive waste and its possible effects on human health, animals, and, in general, the environment in the northern latitudes.

**Keywords:** *radio nuclides, micro- and macroflora, bacteria, fungi, ecological safety.*

Радиационная обстановка на территории Республики Саха (Якутия) складывалась на протяжении десятилетий как следствие глобального загрязнения природной среды продуктами ядерных взрывов, проводившихся на полигонах планеты и аварий атомной энергетики. Пик радиоактивных выпадений на территорию Якутии пришелся на 1961–1969 годы, из них более всего на 1963 год, когда наблюдалось 595 случаев проб осадков с повышенной радиоактивностью. Наибольшее их количество было зарегистрировано в следующих районах: Оймяконском – 37 случаев; Верхнеколымском, Алданском, Булунском – 32 случая; Нерюнгринском – 28 случаев; Усть-Янском, Среднеколымском – 27 случаев. При этом максимальное значение радиоактивных выпадений равнялось 1779,3 Бк/км<sup>2</sup> в сутки [1].

В период с 1974 по 1987 годы на территории республики было проведено двенадцать мирных подземных ядерных взрывов, один из которых, «Кратон-3», проведенный с целью глубинного сейсмического зондирования осадочного чехла земной коры, стал аварийным, с выбросом в атмосферу и на поверхность почвы радиоактивных продуктов распада.

Объект подземного ядерного взрыва (далее – ПЯВ) «Кратон-3» находится в пределах Верхневиллюйско-Моркокинского района северо-таежной подзоны мерзлотно-таежной области бореального пояса Восточной Сибири, характеризующегося непрерывной криолитозо-

ной [2], в 40 км восточнее от поселка Айхал, на правом берегу реки Марха (левый приток реки Вилюй), в 160 м от уреза воды (рис. 1–2).

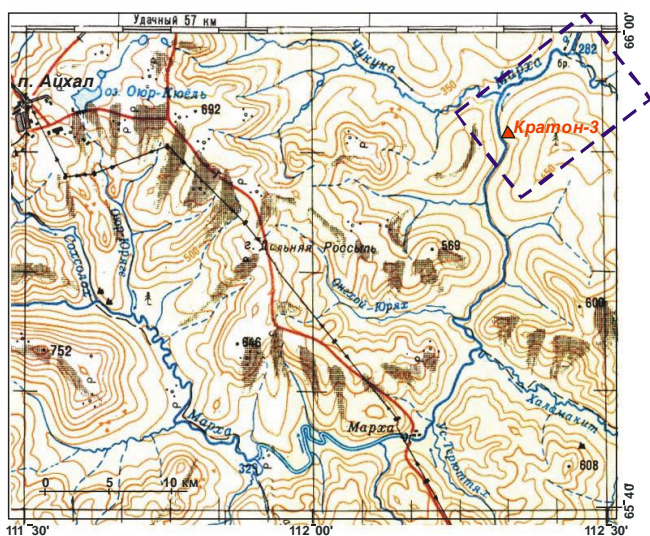


Рис. 1. Карта расположения объекта ПЯВ «Кратон-3»



Рис. 2. Общий вид саркофага «Кратон-3»

Максимальная глубина сезонного протаивания или мощность сезонно-талого слоя здесь составляет 0,6 м – для торфа, 1,0 м – для супесей и суглинков и 2,0 м – для песков [3].

«Боевая» скважина имеет координаты 65°55'31,6" северной широты, 112°19'57,8" восточной долготы; абсолютная высота точки ее заложения над уровнем моря – 308,99 м.

В гидрогеологическом отношении район ПЯВ «Кратон-3» относится к Оленекскому криоартезианскому бассейну [4].

В пределах объекта разделяются следующие типы: надмерзлотные воды сезонно-талого слоя подрусовых и подозерных таликов, нижнеордовикский межмерзлотный (олдондинская свита), верхне- (моркокинская и мархинская свита), средне- (чукукская свита) и нижнекембрийские подмерзлотные водоносные комплексы [5; 6].

Геологический разрез до глубины 12–14 м представлен аллювиальными отложениями четвертичной системы ( $Q_{III}^{3+4}$ - $Q_{IV}$ ), песками с примесью гальки и суглинками. Ниже, до глубины 252–270 м, залегает толща чередования известняков и аргиллитов нижнего ордовика, расчленяемая на сохсодохскую ( $O_1shs$ ), олдондинскую ( $O_1ol$ ) и моркокинскую ( $O_1mrk$ ) свиты. Нижняя часть исследованного разреза до глубины 584 м сложена известняками с прослоями доломитов и аргиллитов верхнего кембрия ( $\epsilon_3$ ). В интервале 165–185 м встречен водопоглощающий горизонт [6; 7; 8].

Основными типами почв обследуемой территории являются дерново-карбонатные и перегнойно-карбонатные почвы, формирующиеся на элювиоделювии карбонатных пород –

доломитов и известняков [9; 10]. Карбонатные отложения характеризуются спокойным гамма-фоном, с колебаниями уровня радиоактивности в пределах 4–7 мкР/ч [11].

Первые дезактивационные работы на промплощадке объекта «Кратон-3» были проведены в 1981 году по проекту ВНИПИ протехнологии (г. Москва). Над устьем шахты насыпан холм почвы высотой 3 м с запрещающим знаком-репером. Хранилище захороненных объектов и приустьевая площадка были обвалованы насыпью высотой до 1 м.

В 1993 году на участке радиозоологической экспедиции «Марха-93» были заложены опыты с природным цеолитом месторождения Хонгуруу (Сунтарский район, Западная Якутия) в качестве защитного барьера. Было установлено, что якутский минерал способен сорбировать и накапливать радионуклиды, что согласуется с данными [12] по изучению сорбционных свойств цеолитов клиноптилолитового типа [13]. Экспедиция наряду с изотопами Cs и Sr обнаружила на объекте «Кратон-3» присутствие  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , Pu и  $^{125}\text{Sb}$  в количествах, превышающих глобальные уровни многократно. В частности, в лишайнике, полученном из сухостоя леса вблизи оси следа, содержание  $^{239, 240}\text{Pu}$  достигало уровня 7 400 Бк/кг при 2,7 Бк/кг в контрольной зоне [7].

С тех пор на объекте проведено около тридцати научно-исследовательских, радиозоологических и мониторинговых работ.

Результаты комплексного обследования объекта ПЯВ «Кратон-3» в течение нескольких лет показали [3; 9; 10; 13; 14; 15; 16; 17]:

- ✚ на промплощадке ПЯВ «Кратон-3», где в 1981 году была удалена почва с растительностью и часть грунта, отчетливо просматривается закономерность распределения максимального загрязнения по оси радиоактивного следа с убыванием к периферии;
- ✚ уровни загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239, 240}\text{Pu}$  превышают уровни глобальных на 2–4 порядка;
- ✚ общий запас  $^{90}\text{Sr}$  на объекте «Кратон-3» значительно преобладает (в 2–3 раза) над  $^{137}\text{Cs}$ ;
- ✚ детальной радиометрической съемкой на промплощадке ПЯВ «Кратон-3» выявлено два локальных пятна загрязнения с высокими уровнями гамма-излучения, один из которых находится непосредственно около устья скважины, где уровень гамма-излучения максимально достигает 125 мкР/ч, второй – в 150 м от устья на север с двумя максимумами: 230 и 250 мкР/ч;
- ✚ на объекте «Кратон-3» существенные уровни загрязнения поверхностных слоев почвы и сосудистых растений обнаружены также и на площадке зоны рекультивации. При этом на одном из участков запас  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почве в 2 000 раз превышает глобальный уровень загрязнения;
- ✚ на территории сохраняется радиационное загрязнение, и необходимо проведение работ по задержке миграции радионуклидов.

В 2007–2008 годах экологическим отрядом Института проблем нефти и газа СО РАН были проведены экспедиционные работы в целях проведения мониторинга на путях возможной миграции радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из саркофага «Кратон-3» и возведения девяти дополнительных защитных геохимических барьеров на основе цеолитового сырья месторождения Хонгуруу.

С целью создания почвенно-растительного покрова на площадке могильника были заложены два участка с высевом семян пырейника сибирского (*Clinelymus sibiricus*). В одну из делянок семена высевались без сорбентов и удобрений, в другую – высев многолетника проведен после внесения цеолита, фракцией 1–8 мм и комплексного удобрения «Хонгурин», разработанного сотрудниками ИПНГ СО РАН [18]. Таким образом, на пути миграции радионуклидов был поставлен двойной заслон в виде сорбента из цеолитового сырья, а пырейник сибирский будет служить экранирующим материалом, обеспечивающим аккумуляцию питательных веществ в дерновом слое [19].

Через год в экспериментальном участке с внесением цеолита и хонгурина появился устойчивый травостой. Результаты первого опыта создания почвенно-растительного покрова на территории объекта ПЯВ «Кратон-3» показаны на рис. 3 и 4.



Рис. 3. Посев семян в участок с цеолитом и хонгурином



Рис. 4. Результат высева семян через год: А – участок с цеолитом и хонгурином; Б – только семена

В 2008 году впервые были исследованы почвы и грунты территории ПЯВ «Кратон-3» на микробиологические показатели. В качестве контроля проанализированы «фоновые» почвы лесного массива поселка Айхал и города Якутска.

Пробы почвогрунтов отбирались пробоотборником Эйдельмана продукции фирмы EIJKELKAMP в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-8 [20; 21]. Радиометрическое измерение мощности гамма-излучения проводилось в соответствии с общепринятой мето-

дикой с использованием радиометра СРП-68-01 № 3189 [22]. Культивирование и идентификацию микроорганизмов проводили согласно ГОСТам и общеизвестным утвержденным методическим пособиям [23–25].

Исследования показали, что миграция радионуклидов на объекте продолжается. За 14 лет цеолит адсорбировал  $^{137}\text{Cs}$  на уровне  $63,7 \pm 7$  и  $^{90}\text{Sr}$  –  $26\,400 \pm 5\,300$  Бк/кг [26]. Все исследованные почвогрунты ПЯВ «Кратон-3» имели сильную щелочную реакцию среды и невысокую влажность. Общая микробная численность (ОМЧ) в почвах исследуемого объекта мало отличалась в разных образцах и составляла от 2–3 до 617 тыс. колонии образующих единиц (КОЕ) на 1 г абсолютно сухого веса (АСВ) почвы, что в 3–4 раза меньше, чем в контрольных образцах «фоново-чистых» лесных почв (табл. 1).

Таблица 1

Выборочная характеристика почвенных образцов

№ образца	Площадка контрольного отбора проб	pH почв	АСВ почв, г	Влажность почв, %	ОМЧ тысяч КОЕ /г АСВ
МЛ-1	ПЯВ «Кратон-3», зона сухостойного леса	8,61	0,753	24,7	2,33
МЛ-3	ПЯВ «Кратон-3», зона сухостойного леса вблизи берегового склона реки Марха	8,53	0,789	21,1	29,90
Ф-2	ПЯВ «Кратон-3», левый берег ручья Безымянный	8,46	0,476	52,4	617,52
К-1	Лесная зона, пос. Айхал, Мирнинский район	7,32	0,508	49,2	30661,30
К-2	Лесная зона, г. Якутск (Вилуйский тракт)	7,24	0,432	56,8	863117,00

Исследованные почвогрунты объекта содержат грибы и бактерии, способные сорбировать радиоактивные вещества, что послужило началом проведения новых испытаний по изучению возможности использования микроорганизмов в качестве сорбентов для переработки радиоактивных отходов.

В целом почвы исследуемой территории по микробиологическим показателям расцениваются как бедные. Видовой состав почвенной микрофлоры объекта не отличается разнообразием и значительно уступает таковым в контрольных «фоново-чистых» почвах (таб. 2).

Таблица 2

Установленные популяции почвенных микроорганизмов

№ образца	Выделенная микрофлора			
	Порядок	Семейство	Род	Вид
МЛ-1	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	agglomeratus
	Eubacteriales	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	pseudoalcaligenes
МЛ-3	Actinomycetales	Micrococcaceae	Sarcina	sp.
	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	agglomeratus

	Eubacteriales	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	pseudoalcaligenes
	Eubacteriales	Moraxellaceae	Moraxella	spp.
	Actinomycetales	Micrococcaceae	Sarcina	sp.
	Mycota	Ascomycetes	Penicillium	sp.
	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	mycoides
	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	agglomeratus
	Eubacteriales	Enterobacteriaceae	Enterobacter	aerogenes
Ф-2	Eubacteriales	Streptococcaceae	Enterococcus	faecium
	Cryptococcales	Cryptococcaceae	Torulopsis	rhodotorula
	Mycota	Ascomycetes	Penicillium	sp.
	Actinobacteriales	Actinobacteria	Rhodococcus	sp.
	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	mycoides
	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	agglomeratus
	Eubacteriales	Enterobacteriaceae	Enterobacter	aerogenes
	Eubacteriales	Streptococcaceae	Enterococcus	faecium
К-1	Eubacteriales	Bacillaceae	Clotridium	sp.
	Eubacteriales	Moraxellaceae	Moraxella	spp.
	Mycota	Ascomycetes	Penicillium	Sp
	Mycota	Ascomycetes	Aspergillus	albus
	Actinobacteriales	Actinobacteria	Rhodococcus	sp.
	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	mycoides
	Eubacteriales	Bacillaceae	Bacillus	subtilis
	Eubacteriales	Bacillaceae	Clotridium	sp.
	Eubacteriales	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	fluorescens
	Eubacteriales	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	alcaligenes
К-2	Eubacteriales	Enterobacteriaceae	Klebsiella	oxytoca
	Eubacteriales	Streptococcaceae	Enterococcus	faecium
	Mycota	Ascomycetes	Aspergillus	albus
	Mycota	Ascomycetes	Aspergillus	niger
	Mycota	Ascomycetes	Penicillium	sp.
	Mycota	Hypocreaceae	Trichoderma	viride

Качественный состав почвенной микрофлоры, представленный на территории ПЯВ «Краток-3» спорообразующими бактериями рода *Bacillus* и неферментирующими бактериями рода *Pseudomonas*, указывает на вялую биодинамику со слабо протекающими минерализационными процессами.

При длительной миграции радионуклидов в почве объекта происходят количественные и качественные перестройки между отдельными группами микроорганизмов.

Кроме того, возможно, что микрофлора, сорбирующая радионуклиды, оказывает отрицательное влияние на здоровье людей, поскольку в условиях Севера широкое распространение в кормовом рационе оленей имеют лишайники и мхи, повсеместно произрастающие на прилегающей территории к ПЯВ «Кратон-3».

В результате загрязнения слоев почвы сорбированные микроорганизмами радионуклиды поступают в корневые части растений, а через корни – в листья и стебли. В этом случае сообщество почвенных микроорганизмов на территории объекта – важное кормовое звено растительного и животного мира в пищевой цепочке и основной путь поступления радионуклидов в организм животных и человека.

Таким образом, наличие радиоэкологической цепочки «почва – растения – олень – человек» обуславливает радиационную обстановку региона.

С целью определения возможного неблагоприятного влияния  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на растения проведено биотестирование почв на семенах районированного сорта пшеницы «Приленская-6».

Установлено, что почвы и их водные вытяжки исследуемого объекта фитотоксичны. Подавляют всхожесть семян. Задерживают рост растений (табл. 3).

Таблица 3

**Результаты биотестирования**

Место отбора проб	Исследуемый материал	Параметры биотестирования			
		Процент всхожести семян	Длина корня, см	Длина стебля, см	Количество листьев на стебле
«Кратон-3», зона мертвого леса	Почва	4	5 ± 1	7	1
«Кратон-3», вблизи берегового склона реки Марха	Водная вытяжка	4	3 ± 1	7	1
«Кратон-3», левый берег ручья Безымянный	Почва	28	5 ± 1	7	1
Лесная зона, пос. Айхал	Водная вытяжка	28	5 ± 1	7	1
Лесная зона, г. Якутск (Вилюйский тракт)	Почва	8	10 ± 1	8	1
Вода дистиллированная	Водная вытяжка	8	10 ± 1	8	1
	Почва	96	17 ± 2	20 ± 2	3
	Водная вытяжка	96	15 ± 1	21 ± 1	3
	Почва	90	17 ± 2	21 ± 2	3
	Водная вытяжка	96	17 ± 2	21 ± 2	3
	Вода	92	18 ± 2	21 ± 2	3

После годичной экспозиции цеолита на ПЯВ «Кратон-3» радиометрические измерения зафиксировали рост гамма-излучения в отдельных точках, что свидетельствует о миграции радионуклидов. В них были установлены повышенные уровни удельной активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ , сравнимые с цеолитом, накопившим данный радионуклид за четырнадцатилетний период экспозиции на объекте, где удельная активность по  $^{137}\text{Cs}$  составила в отдельных контрольных точках 54,5 Бк/кг [26].

К сожалению, по разным причинам не представилось возможным исследовать повторно почвогрунты на микробиологические показатели и установить способность пырейника сибирского сорбировать радионуклиды после создания травостоя в опытных участках. Данная работа носит информационно-исследовательское значение и служит накопительным материалом для изучения фактологического потенциала радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на мик-



робное сообщество, что в будущем позволит оценить степень экологической опасности или безопасности хранилищ радиоактивных отходов и их возможного влияния на здоровье людей, животных и, в целом, окружающей среды в северных широтах.

Проведенными в 2007–2008 годах лабораторно-полевыми экспериментами установлено, что в почвах объекта мигрирующие радионуклиды оказывают интоксикационное действие как на почвенные микроорганизмы, так и на растения. Подавляют всхожесть семян, рост корневой системы и зеленой части проростка.

Поскольку ксенобиотики не перерабатываются ферментными системами организмов, а значительная часть токсинов еще до поступления в организм превращается в канцерогенные либо мутагенные вещества, то негативное влияние радионуклидов на растения требует дальнейшего изучения.

Исследования способности бактерий и грибов сорбировать радионуклиды позволят в дальнейшем использовать микроорганизмы в качестве сорбентов для переработки радиоактивных отходов.

Необходимо также расширить мониторинговые наблюдения на «ближнем следе» распространения радиационного загрязнения, а также опробование водотоков и грунтовой воды, особенно на пониженных участках, где возможна основная миграция талых снеговых и дождевых вод.

Работа выполнена при финансировании Государственного контракта № 10 от 2 мая 2007 года «Разработка технологии строительства защитного геохимического барьера на основе цеолита месторождения «Хонгуруу» на объекте ПЯВ «Кратон-3» при поддержке Министерства охраны природы Республики Саха (Якутия).

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории аналитического центра Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск), лаборатории радиоэкологии Института биофизики СО РАН (Красноярск), испытательной радиологической лаборатории ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Саха (Якутия)» (Якутск), лаборатории генезиса почв и радиобиологии Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск), ГУП «Центральная геологическая лаборатория» ГУГГП РС (Я) «Якутскгеология» (Якутск), сектору экологии лаборатории геохимии каустобиолитов Института проблем нефти и газа СО РАН (Якутск), принявших участие в лабораторно-полевых исследованиях на объекте ПЯВ «Кратон-3» в 2007–2008 годах.

## Литература

1. Мизгирев Д., Аргунова Т. Радиация в Якутии: удовлетворительно! // Еженедельник «Молодежь Якутии». № 18 (5420). 11 мая. 2007.
2. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. М., ГУГК, 1989. 115 с.
3. Собакин П. И. и др. Исследование миграции некоторых искусственных радионуклидов в мерзлотных почвах в местах проведения подземных ядерных взрывов ПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл» // Отчет о НИР / ЯИБПК СО РАН. Якутск, 2003.
4. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984.
5. Геология, гидрогеология и геохимии нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1986.
6. Микуленко К. И., Чомчоев А. И., Готовцев С. П. Геолого-географические условия проведения последствия подземных ядерных взрывов на территории Республики Саха (Якутия). Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. 196 с.
7. Бурцев И. С., Колодезникова Е. Н. Отчет о результатах работы радиологической экспедиции «Марха-93», проведенной в 1993 г. на объектах ПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл». Якутск, 1994. 52 с.
8. Бурцев И. С., Колодезникова Е. Н. Радиационная обстановка в алмазоносных районах Якутии. Препринт. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1997. 52 с.
9. Чевычелов А. П., Собакин П. И. Почвенно-геохимические основы радиационной безопасности в районах проведения аварийных подземных ядерных взрывов «Кристалл» и «Кратон-3» // Материалы II республиканской научно-практической конференции 16–18 декабря 2003 г. Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия). Якутск: ЯФ ГУ Изд-во СО РАН, 2004. С. 204–215.
10. Чевычелов А. П., Собакин П. И. Миграция искусственных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в мерзлотных почвах радиоактивно-загрязненных ландшафтов криолитозоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 80 с.
11. Цыганов А. С. и др. О результатах изучения влияния подземных ядерных взрывов на радиационную обстановку в Мирнинском районе Якутской-Саха ССР // Отчет ПГО «Якутскгеология». Якутск, 1990.
12. Зайцев В. Н., Каденко И. Н., Василик Л. С., Олейник В. Д. Природный цеолит клиноптилолит как адсорбент для извлечения радионуклидов и солей тяжелых металлов // Изв. Вузов. Химия и химическая технология. 1995. № 4–5. С. 40–45.
13. Новгородов П. Г., Лифшиц С. Х., Ерофеевская Л. А., Чалая О. Н., Александров А. Р. Первый опыт создания почвенно-растительного покрова на территории объекта ПЯВ «Кратон-3» // Наука и образование. 2010. № 4 (60). С. 66–69.
14. Рамзаев В. П. и др. Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): Оценка текущих и реконструкция накопленных доз облучения населения вследствие проведения подземных ядерных взрывов «Кристалл» и «Кратон-3» с целью обоснования мер социальной защиты // Отчет о НИР / ГУ СПБНИИРГ МЗ РФ. СПб., 2002.
15. Рамзаев В. П., Голиков В. Ю., Мишин А. С. и др. Современная радиационно-гигиеническая обстановка в регионе проведения мирных подземных ядерных взры-

- вов «Кратон-3» и «Кристалл» на территории РС (Я) // Материалы II республиканской научно-практической конференции 16–18 декабря 2003 г. «Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия)». Якутск: ЯФ ГУ Изд-во СО РАН, 2004. С. 123–133.
16. Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): Материалы II республиканской научно-практической конференции. Якутск: ЯФ ГУ «Издательство СО РАН», 2004. 472 с.
  17. Ушницкий В. Е., Барашков А. В. Радиологическое (мониторинговое) обследование состояния промплощадок МПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл» (с оформлением радиоэкологических паспортов): Отчет МОП РС (Я). Якутск, 2004. 94 с.
  18. Новгородов П. Г. Практическое использование хонгурина // Тезисы докладов первой научно-практической конференции, посвященной 10-летию создания в Якутии первого цеолитодобывающего предприятия «Сунтарцеолит» (17–18 июня 1999 г, с. Сунтар, РС(Я)). Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000. С. 25–35.
  19. Миронова С. И. Техногенные сукцессионные системы растительности Якутии. Новосибирск: Наука, 2000. 150 с.
  20. ГОСТ 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб».
  21. ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализов».
  22. Инструкция по работе со сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках. Л.: НПО «Рудгеофизика», 1987.
  23. МР «Методические рекомендации по методам микробиологического контроля почвы. № ФЦ/4022–04».
  24. Возняковская Ю. М. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почвы: методические рекомендации. Л.: 1987. 47 с.
  25. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 75 с.
  26. Новгородов П. Г. и др. Разработка технологии строительства защитного геохимического барьера на основе цеолита месторождения «Хонгуруу» на объекте ПЯВ «Кратон-3». Промежуточный отчет (госконтракт № 10 от 2 мая 2007 г.), ИПНГ СО РАН. Якутск, 2007. 159 с.

Рецензент – Шрага Моисей Хаимович,  
доктор медицинских наук, профессор.