

В.Н. Макаров

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ЯКУТИИ И УГРОЗА ЭНДЕМИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

УДК 550.4:616 (551.341)

В связи с токсикологической ролью азота рассматривается распространение минеральных соединений азота в окружающей среде Якутии. Распространение соединений азота – нитратов, нитритов, аммония, изучалось в различных природных средах Якутии: атмосфере, снежном покрове, поверхностных и подземных водах. Приведены данные об объемах атмосферного поступления азота в ландшафты. Обосновывается необходимость контроля поступления соединений азота в организм человека.

**Ключевые слова:** природная среда, азот, минеральные соединения, токсиканты, заболеваемость.

In view of the toxicological role of nitrogen, the distribution of its mineral compounds in the environment of Yakutia is examined. The distribution of nitrogen compounds – nitrates, nitrites and ammonium – was studied in various components of Yakutia's environment, including the atmosphere, snow cover, surface water and groundwater. Data on the atmospheric deposition of nitrogen fluxes to the landscapes are presented. The need for control of human exposure to nitrogen compounds is substantiated.

**Keywords:** environment, nitrogen, mineral compounds, toxicants, morbidity.

**Введение.** Азот один из самых экологически важных, жизненно необходимых, но и сильно токсичных элементов. N – единственный химический элемент, который входит в состав всех без исключения молекул аминокислот, белков, нуклеиновых кислот, ферментов, витаминов [8], и поэтому является наиболее важным элементом для всего живого, начиная от вирусов и простейших микроорганизмов и кончая высокоорганизованными – животными и человеком.

Долгое время существовало представление о накоплении соединений азота в компонентах ландшафта всего лишь как о косвенном показателе бытового загрязнения. Отношение к проблеме повышенного содержания азота, особенно нитратов, резко изменилось, когда была установлена их токсикологическая роль.

Обзор медицинских данных. Пищевые продукты и корма с большим количеством нитратов, высокое содержание их в воде могут вызвать у человека и животных острые желудочно-кишечные расстройства [1,4]. Повышенная концентрация соединений азота оказывает непосредственное отрицательное воздействие на водные организмы. Например, аммонийный азот вызывает повреждение жабр, эритроцитов, почек, печени рыб [15]. В организме человека и животных нитраты восстанавливаются до нитритов, которые окисляют железо в молекуле гемоглобина, переводя его из двухвалентного в трехвалентное. образу-

ющийся метгемоглобин неспособен осуществлять обратимое связывание кислорода, что приводит к отравлению организма, вызывая бессимптомный (уровень метгемоглобина 10%) или выраженный цианоз (при уровне 20-50%) [5,9].

У детей высокие концентрации N вызывают тяжелые заболевания – метгемоблиотию и др., у взрослых – нарушение сердечной, обменной и мутационной деятельности.

Содержание нитратного азота в воде до 10 мг/л не вызывает повышения в крови человека уровня метгемоглобина, более высокие концентрации приводят к росту этого уровня, и тем большому, чем моложе возраст человека. Исходя из имеющихся данных о влиянии нитратов на организм человека, в России установлены ПДК для этой формы азота на уровне 10 мг/л (45 мг/л по  $\text{NO}_3^-$ ).

Метгемоглобинемия грудных детей встречается почти исключительно в сельской местности, в тех населенных пунктах, где пользуются водой из озер [12,13]. Данные по заболеваемости метгемоглобинемией на территории РС(Я) практически отсутствуют. Но высокое содержание нитратов в питьевых водах, обогащение ими грунтовых вод всех сельских населенных пунктов республики, где пользуются озерными водами, говорят о возможности возникновения этого заболевания. Поэтому необходимо наблюдение медицинской службы республики за поступлением нитратов в организм человека, как с питьевой водой, так и с другими продуктами, особенно с молоком и картофелем.

Велика токсикологическая роль нитратов в питьевой воде и продуктах питания. Связано это, во-первых, с

продолжающимся ростом содержания нитратов в водах, во-вторых, с возможным канцерогенным действием их через образование N-нитрозоаминов, обширной группы канцерогенных веществ, включающих более 100 соединений и вызывающих злокачественные новообразования у всех испытанных видов лабораторных животных, включая приматов [2]. И хотя окончательного подтверждения канцерогенности N-нитрозосоединений для человека пока нет, крайне маловероятно, чтобы человек был резистентным к канцерогенному действию указанных соединений [3]. Опасность N-нитрозосоединений заключается в их повсеместном распространении в окружающей среде и способности в отличие от других канцерогенов образовываться из неканцерогенных предшественников: нитратов, нитритов и амидов, всегда присутствующих биосфере [2,10]. Наиболее опасные для здоровья человека – растворимые соединения азота, самые подвижные и устойчивые из которых нитраты. В ряде стран (Чили, США, Япония и др.) выявлена прямая зависимость частоты заболевания раком от содержания нитратов в питьевой воде [16]. Тесная корреляционная связь установлена между количеством применяемых удобрений и смертностью от рака желудка [14,16].

Помимо нитратов в организм поступают более опасные для здоровья человека нитриты и аммоний. Поэтому необходимо изучение распространения соединений азота в окружающей среде и контроль за совместным поступлением различных форм азота в организм человека.

**Результаты геохимических исследований.** Распространение минеральных соединений азота изучалось в

различных природных средах Якутии: атмосфере, снежном покрове, природных водах [11].

Ниже (табл. 1) приведены сведения по выбросам оксидов азота на территории Якутии, отходящих от стационарных источников загрязнения.

Судя по статистическим данным, выбросы оксидов азота на территории Якутии за восьмилетний период (2000-2007 гг.) оставались практически постоянными (22-25 тыс. т) и в 2008-2009 гг. возросли на 20-24 %, составив около 30 кг на каждого жителя в год.

Содержание соединений азота в атмосфере селитебных территорий хорошо изучено благодаря экологическому мониторингу в атмосфере г. Якутска, оно заметно ниже санитарных норм (табл.2).

Однако на протяжении пятилетнего периода (2002-2006 гг.) концентрация диоксида азота в атмосфере города повысилась на 56% – с 0,018 до 0,028 мг/м<sup>3</sup>. Неблагоприятная ситуация наблюдается в атмосфере городов Мирный и Нерюнгри, где концентрация диоксида азота превышает среднесуточные санитарные нормы, причем в атмосфере Мирного концентрация NO<sub>2</sub> в период 2002-2006 гг. увеличилась практически вдвое.

Распределение поступления минеральных соединений азота из атмосферы – плотность атмосферных выпадений на территории Якутии показано на рис. 1.

Как следует из рис. 1, величина потоков азота в регионе изменяется в пределах от 1 до 30-40 кг/км<sup>2</sup> год. В распределении потоков соединений азота по площади региона наблюдается определенная закономерность. Минимальное количество поступления азота из атмосферы (менее 5 кг/км<sup>2</sup> год), наблюдаемое на большей части Якутии, характеризует фон территорий, удаленных более чем на 1000 км от промышленно развитых районов, и практически целиком обусловлено природным уровнем содержания соединений азота в воздухе. Более высокие атмосферные потоки азота (5-20 кг/км<sup>2</sup> год) фиксируются в Центральной Якутии (рис. 1), а максимальные (20-30 кг/км<sup>2</sup> год) – в юго-западной части республики, граничащей с Иркутской областью.

Преобладающая форма минерального азота в снеговых водах – нитратная и аммонийная и соотношение минеральных форм азота (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) остаются практически постоянными в снежном покрове всех типов ландшафтов Якутии.

Таблица 1

Ежегодные выбросы в атмосферу оксидов азота стационарными источниками, расположенными на территории Якутии, тыс. т [7]

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
NO <sub>x</sub>	24,8	24,5	25,3	24,4	23,2	21,9	23,6	24,0	30,8	30,0
Кол-во предприятий	285	284	303	294	306	329	359	398	398	405

Основные объёмы атмосферных выпадений минеральных соединений азота поступают на поверхность в теплое время года (рис. 2).

С экологических позиций важно отметить, что содержания кислородных форм соединений азота – нитратов и нитритов в снежном покрове селитебных зон всего на порядок ниже нормируемых величин, а аммонийных – даже выше ПДК (Нерюнгри, Якутск, Мирный).

Среднее содержание соединений азота в речных водах различных регионов Якутии в летнюю межень колеблется от 0,053 – реки Восточной Якутии – до 0,495-0,514 мг/л – реки Западной и Южной Якутии (табл. 3).

Наиболее высокие концентрации в речных водах, почти достигающие уровня санитарно-гигиенических норм, характерны для токсичных ионов аммония: р. Нюняли (в районе месторождения Талакан) – 1,16, р. Иенгра

Таблица 2

Среднегодовая концентрация соединений азота (NO и NO<sub>2</sub>) в атмосфере городов Якутии, мг/м<sup>3</sup> [6]

Город	Год	NO <sub>2</sub>	NO	ΣN
Мирный	2002	0,038	0,030	0,026
	2003	0,030	0,026	0,021
	2004	0,038	0,045	0,033
	2005	0,033	<b>0,088</b>	0,051
	2006	<b>0,087</b>	<b>0,079</b>	0,063
Нерюнгри	2002	<b>0,050</b>	0,020	0,024
	2003	<b>0,065</b>	0,020	0,029
	2004	<b>0,061</b>	0,020	0,028
	2005	<b>0,057</b>	0,020	0,026
	2006	<b>0,055</b>	0,017	0,025
Якутск	2002	0,018	0,009	0,009
	2003	0,025	0,009	0,012
	2004	0,023	0,020	0,016
	2005	0,024	0,015	0,014
	2006	0,028	0,011	0,013
ПДК среднесут		<b>0,040</b>	<b>0,060</b>	

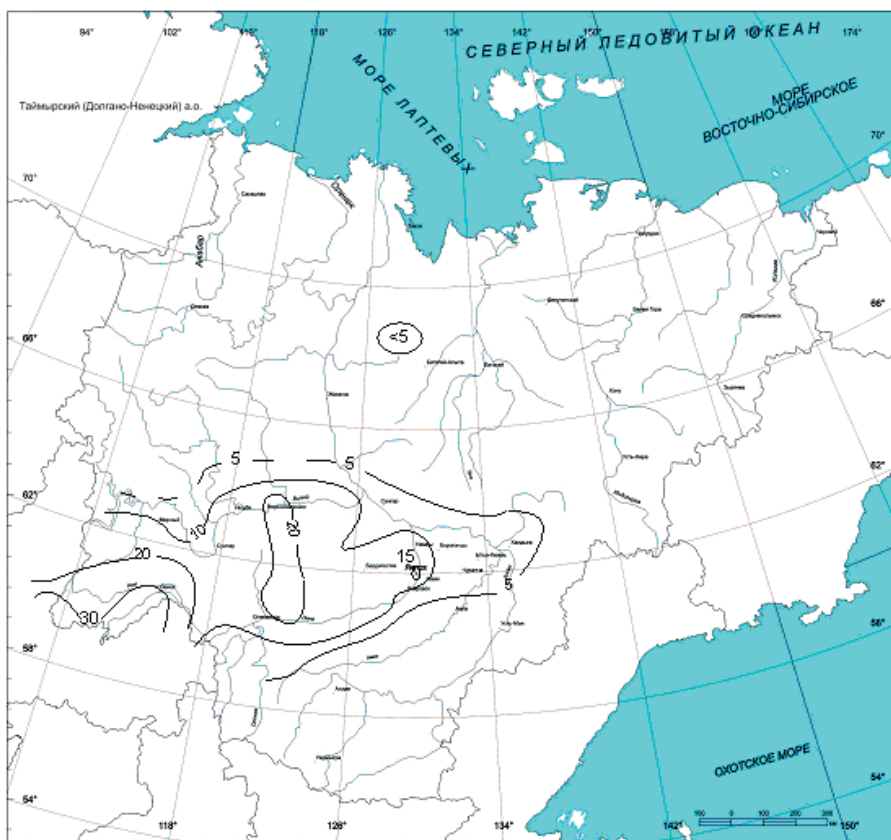


Рис. 1. Плотность атмосферных выпадений азота, кг/км<sup>2</sup> год

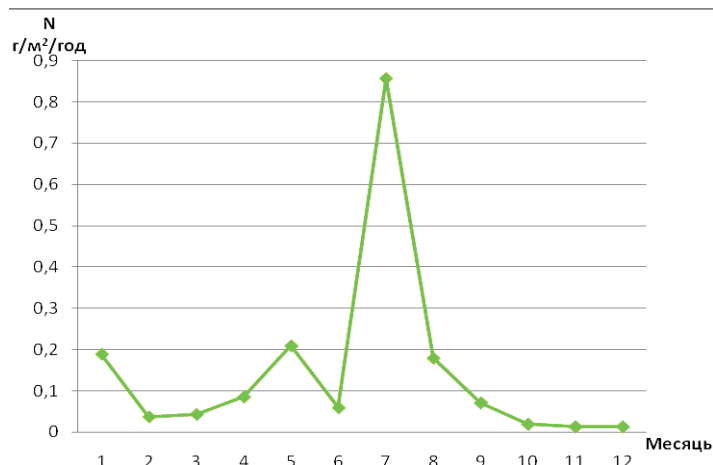


Рис. 2. Плотность атмосферных выпадений минеральных соединений азота (Якутск, 2010 г.)

– 1,31, р. Телгеспит (в районе Среднеботуобинского нефтегазоконденсатного месторождения) – 0,84 мг/л.

В последнее время отмечено накопление в водах все более токсичных соединений азота –  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$ . Это происходит за счет окисления  $\text{NO}_2^-$ , а также попадания в воды стоков животноводческих производств (50–360 мг/л  $\text{NH}_4^+$ ). Так, в надмерзлотных водах, дренирующих летнюю ферму крупного рогатого скота в Центральной Якутии, зафиксирована концентрация аммония 60 мг/л.

Многие реки, лишенные грунтового питания из-за существования многолетнемерзлых пород, промерзают в зимний период и не могут служить источником водоснабжения. Поэтому большинство сельских населенных пунктов размещаются около озер. Такие озера, используемые для водоснабжения, как правило, быстро деградируют, в результате взаимодействия природных и антропогенных факторов и вода становится непригодной для водоснабжения. Например, в Центральной Якутии большинство озер аласных и таёжных ландшафтов располагаются вблизи сел с населением 500–1000 чел. и используются для водозабора. Вода озер обогащена аммонийными и нитритными соединениями азота. В воде большинства озер преобладают восстановленные аммонийные формы азота (до 96–98% от общего его содержания), причем их концентрация часто превышает санитарные нормы (табл. 4).

Содержание соединений азота в подземных водах изучено очень слабо и в основном связано с проблемами использования подмерзлотных вод

для водоснабжения (табл. 5).

Несмотря на изолирующую роль многолетнемерзлых пород, в ряде районов Якутии наблюдается поступление соединений азота в глубокозалегающие подземные (подмерзлотные) воды. В основном это территории распространения таликовой и островной мерзлоты.

Дополнительными источниками техногенного азота являются стоки промышленных предприятий. В техногенных водах накопителей и хвостохранилищ горнообогатительных комбинатов присутствуют высокие концентрации азотсодержащих ионов (табл. 6).

**Выводы.** Установлено широкое распространение высоких концентраций минеральных соединений азота в компонентах окружающей природной среды Якутии: атмосфере, снежном покрове, природных водах.

Поступления большого количества минеральных соединений азота в озерные, речные и подземные

Таблица 3

Среднее содержание соединений азота в речных водах Якутии (летняя межень), мг/л

Регион	$\text{N}(\text{NO}_3^-)$	$\text{N}(\text{NO}_2^-)$	$\text{N}(\text{NH}_4^+)$	$\text{N}_{\text{общ}}$	Кол-во рек
Центральный	0,068	0,002	0,041	0,111	4
Восточный	0,040	0,001	0,017	0,053	7
Западный	0,066	0,022	0,406	0,495	6
Южный	0,078	0,003	0,433	0,514	4
Северный	0,179	0,003	0,153	0,335	5
ПДК <sub>гигиен</sub>	10,0	1,0	2,0	-	-

Таблица 4

Среднее содержание аммония в озерах Якутии, мг/л

Озеро	$\text{NH}_4^+$
Нюрбачан	2,0
Сюльцы	2,1
Кюлюкянь	1,6
Чабыда	7,2
Бэрэ	2,65
Кюрес	2,6
Тегюлкян-Кюеле	0,58
Район г. Якутска	14,4
ПДК <sub>гигиен</sub>	2,6

Таблица 5

Содержание соединений азота в подземных водах Якутии, мг/л

Подземные воды	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$
Источник Улахан-Тарын	1,8	0,01	0,01
Источник Булус	0,2	0,69	0,01
Надмерзлотные воды (Трубка Мир)	0,05	20,6	0,10
Якутск, подмерзлотные воды, 165 м	0,23	0,001	0,001
Талакан, подмерзлотные воды, 135 м	0,05	0,36	0,003
Трубка Юбилейная, подмерзлотные воды	До 60,0	нд	<0,01
Трубка Мир, подмерзлотные воды	16,4	3,1	0,20
Чаяндинское месторождение, 1500 м	60,0	нд	<0,01
ПДК <sub>гигиен</sub>	2,6	45	3,3

Таблица 6

Содержание соединений азота в сточных водах ГОКов, мг/л

Месторождение	pH	Минерализация	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$
Трубка Мир (накопитель дренажных вод Тымтайдах)	7,1	105 000	0,05	747	0,5
Сарылах, хвостохранилище ГОК	6,9	2 950	8,4	3,9	0,07
Куранах, хвостохранилище ГОК	9,5	150	2,2	19,1	1,7
Джебарики-Хая, промплощадка	6,8	136	2,5	9,1	0,46
Нера-Талалах, сточные воды	6,1	312	63,0	4,7	0,11
ПДК <sub>гигиен</sub>	6,5–8,5	1 000	2,6	45	3,3



воды, используемые для водоснабжения, требуют оценок с точки зрения медицинской безопасности. В организм поступают не только нитраты, но и более опасные для здоровья человека нитриты и аммоний. Поэтому важно изучение распространения соединений азота в окружающей среде и контроль за совместным поступлением различных форм азота в организм человека.

Необходимо более углубленное изучение связи онкологических заболеваний с геохимическим состоянием окружающей среды, проведение сопряженного изучения нахождения в продуктах питания и в компонентах ландшафта нитратов, нитритов и N-нитрозосоединений. Особого внимания заслуживает проявление синергического эффекта нитратов и токсичных металлов, что представляет малоисследованную проблему для подверженных техногенному загрязнению ландшафтов в селитебных (Pb, Zn, Cu, Cd, Ti, Hg), промышленных (As, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo) и сельскохозяйственных (Cu, Zn, Cr, Pb, Co, Mn) районах Якутии.

## Литература

1. Блинов Н. И. Регламентация токсикологических факторов кормов в целях охраны здоровья человека и животных / Н.И. Блинов // Сельское хозяйство за рубежом. - 1984. - № 2. - С. 43-47.
2. Blinov N.I. Regulation of toxicological factors of feedstuff for human and animal health protection purposes / N.I. Blinov // Agriculture Abroad. - 1984. - № 2. - P. 43-47.
3. Боговский П. А. Гигиеническое значение N-нитрозосоединений / П.А.Боговский // Растение и химические канцерогены. - Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1979. - С. 163-174.
4. Bogovsky P.A. Hygienic implication of N-nitroso compounds / P.A. Bogovsky // Plant and Chemical Carcinogens. - Leningrad: Nauka. Leningrad Department, 1979. - P. 163-174.
5. Боговский П. А. Канцерогенные соединения и химизация сельского хозяйства / П.А.Боговский // Экология и земледелие. - М.: Наука. - 1980. - С. 163-174.
6. Bogovsky P.A. Carcinogenic compounds and chemization of agriculture / P.A. Bogovsky // Ecology and Crop Farming. - Moscow: Nauka. - 1980. - P. 163-174.
7. Васюкович Л. Н. Материалы к обоснованию допустимых суммарных количеств нитратов и нитритов питьевой воде / Л.Н. Васюкович, Г.В. Красовский // Гигиена и санитария. - 1979. - № 7. - С. 8-11.
8. Vasyukovich L.N. Data for establishing the permissible total amounts of nitrates and nitrites in drinking water / L.N. Vasyukovich, G.V. Krasovsky // Hygiene and Sanitary. - 1979. - № 7. - P. 8-11.
9. Волкова Н. В. Нитраты колодезной воды и возможные отдаленные последствия их влияния на организм / Н.В.Волкова // Вопросы эпидемиологии и гигиены Литовской ССР. Вильнюс. - 1976. - С. 52-54.
10. Volkova N.V. Nitrates in well water and their possible long-term effects on the organism / N.V. Volkova // Issues of Epidemiology and Hygiene of the Lithuanian SSR. Vilnius. - 1976. - P. 52-54.
11. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей природной среды Республики Саха (Якутия) в 2006 году / Правительство Республики Саха (Якутия), Мин. охраны природы РС(Я); [сост. Т.Г.Захарова, М.В.Архипов; научный ред. В.А.Григорьев]. - Якутск: Сахаполиграфиздат, 2007. - 184 с.
12. Public Report on the State and Protection of Environment in the Republic of Sakha (Yakutia) in 2006. / Republic of Sakha (Yakutia) Government, Ministry of Environmental Protection; [compiled by T.G. Zakharova, M.V. Arkhipov; edited by V.A. Grigoryev]. - Yakutsk: Sakhapoligrafizdat, 2007. - 184 p.
13. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2009 году / Правительство Республики Саха (Якутия), Мин. охраны природы РС(Я); [сост. Е.Г. Шадрина, А.И.Олесова; научный ред. В.А.Григорьев]. - Якутск: «Дани Алмас», 2010. - 232 с.
14. Public Report on the State and Protection of Environment in the Republic of Sakha (Yakutia) in 2009. / Republic of Sakha (Yakutia) Government, Ministry of Environmental Protection; [compiled by E.G. Shadrina, A.I. Olesova; edited by V.A. Grigoryev]. - Yakutsk: «Dani Almas», 2010. - 232 p.
15. Збарский Б.И. Биологическая химия / Б.И. Збарский, И.И. Иванов, С.Р. Мардашев. - Л.: Медицина, 1972. - 582 с.
16. Zbarsky B.I. Biological Chemistry / B.I. Zbarsky, I.I. Ivanov, S.R. Mardashev. - Leningrad: Meditsina, 1972. - 582 p.
17. Иванов Н. Н. О биологическом действии нитратов питьевой воды / Н.Н. Иванов, Н. И., Петухов, Н.Ш., Шамсутдинов // Гигиена и санитария. - 1975. - № 12. - 9-11.
18. Ivanov N.N. On biological effect of nitrates in drinking water / N.N. Ivanov, N.I. Petukhov, N.Sh. Shamsutdinov // Hygiene and Sanitary. - 1975. - № 12. - 9-11.
19. Ильницкий А. П., Власенко, Н. Я. Эндогенный синтез N-нитрозосоединений / А.П. Ильницкий, Н.Я. Власенко // Вопросы онкологии. - 1977. - № 1. - С. 99-106.
20. Ilnitsky A.P., Vlasenko N.Ya. Endogenous synthesis of N-nitroso compounds / A.P. Ilnitsky, N.Ya. Vlasenko // Issues of Oncology. - 1977. - № 1. - P. 99-106.
21. Макаров В.Н. Азот в окружающей среде Якутии / В.Н.Макаров; отв. ред. В.И.Федосеева; Рос. акад. наук, Сиб. отд-е, Ин-т мерзлотоведения. - Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2010. - 68 с.
22. Makarov V.N. Nitrogen in the Yakutian Environment / V.N. Makarov, editor V.I. Fedoseeva; Russian Acad. Sci., Siber. Branch, Permafrost Institute. - Yakutsk: Permafrost Institute SB RAS Press, 2010. - 68 p.
23. Муха В. К вопросу о механизме возникновения и профилактики алиментарной нитратной метгемоглобинемии грудных детей / В. Муха, П. Каменский, Ю. Келети // Гигиена и санитария. - 1965. - № 8. - С. 23-28.
24. Mukha V. On the issue of the mechanism of development and prevention of alimentary nitrate methemoglobinemia in infants / V.Mukha, P. Kamensky, Yu. Keleti // Hygiene and Sanitary. - 1965. - № 8. - P. 23-28.
25. Петухов Н. И., Иванов А. И. Исследование некоторых психофизиологических реакций при водно-нитратной метгемоглобинемии у детей / Н.И. Петухов, А. И. Иванов // Гигиена и санитария. - 1970. - № 1. - С. 26-28.
26. Petukhov N.I., Ivanov A.I. Investigation of some psycho physiological reactions to water nitrate methemoglobinemia in children / N.I. Petukhov, A.I. Ivanov // Hygiene and Sanitary. - 1970. - № 1. - P. 26-28.
27. Армыжо Р. Эпидемиологическое исследование на stomach cancer mortality / R. Armyjo, A. Couison // Inter. J. Epidem. - 1975. - N 4. - 301 p.
28. Stanley F. A. Effect of soil moisture and depth of application an retention of anhydrous ammonia / F.A. Stanley, G.E. Smits // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. - 1956. - Vol. 20, - N 4. - P. 557-561.
29. Zaldivar R. Nitrate fertilizers as environmental pollutants / R. Zaldivar // Experimentia. - 1977. - Vol. 33, - N 2. - P. 264-265.