

# ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МЫШЬЯКОМ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЛЮДЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В БАССЕЙНЕ РЕК ГАНГ, МЕГХНА И БРАХМАПУТРА (ГМБ) И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ

### GROUNDWATER ARSENIC CONTAMINATION AND ITS HEALTH EFFECTS IN GANGA-MEGHNA-BRAHMAPUTRA (GMB) PLAIN AND ITS SURROUNDINGS

**С. Ахамед<sup>1</sup>, Б. Дас<sup>1</sup>, М.А. Хоссейн<sup>1</sup>, Б. Наяк<sup>1</sup>, А. Пал<sup>1</sup>, Е.Дж. Сингх<sup>1</sup>,  
М.К. Сенгупта<sup>1</sup>, С.Ч. Мукхерджи<sup>2</sup>, С. Пати<sup>3</sup>, Р.Н. Дутта<sup>4</sup>, К.Ч. Саха<sup>5</sup>,  
К. Квамруззаман<sup>6</sup>, Д. Чакраборти<sup>1\*</sup>**

**Sad Ahamed<sup>1</sup>, Bhaskar Das<sup>1</sup>, M. Amir Hossain<sup>1</sup>, Bishwajit Nayak<sup>1</sup>,  
Arup Pal<sup>1</sup>, E. Jayantakumar Singh<sup>1</sup>, Mrinal Kumar Sengupta<sup>1</sup>,  
Subhash Chandra Mukherjee<sup>2</sup>, Shyamaapada Pati<sup>3</sup>,  
Rathindra Nath Dutta<sup>4</sup>, Kshitish Chandra Saha<sup>5</sup>,  
Quazi Quamruzzaman<sup>6</sup>, Dipankar Chakraborti<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Университет Джадавпура, Калькутта, Индия

<sup>2</sup> Медицинский колледж, Калькутта, Индия

<sup>3</sup> Институт последипломного медицинского образования и исследований, госпиталь Медицинского института, Калькутта, Индия

<sup>4</sup> Институт тропической медицины, Калькутта, Индия

<sup>5</sup> Общественный госпиталь Дакки, Дакка, Бангладеш

<sup>1</sup> Jadavpur University, Kolkata, India

<sup>2</sup> Medical College, Kolkata, India

<sup>3</sup> Institute of Post Graduate Medical Education and Research, SSKM Hospital, Kolkata, India

<sup>4</sup> School of Tropical Medicine, Kolkata, India

<sup>5</sup> Dhaka Community Hospitals, Dhaka, Bangladesh

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** мышьяк, загрязнение питьевой воды, арсеникозы, Индия, Бангладеш

**KEYWORDS:** arsenic, drinking water contamination, arsenicosis, India, Bangladesh

**РЕЗЮМЕ:** На основании проводимого нами на протяжении последних 19 лет исследования загрязнения мышьяком подземных вод в бассейне рек Ганг, Мегхна и Брахмапутра (ГМБ) (площадь 569749 км<sup>2</sup>, население более 500 млн. человек) мы предположили, что значительная часть территорий бассейна загрязнена мышьяком. За это время мы проанализировали 219584 образца воды из трубчатых колодцев в бассейне ГМБ на содержание мышьяка методом проточно-инжекционной атомно-абсорб-

ционной спектрометрии с гидридной генерацией. Медицинское обследование на загрязненных мышьяком территориях бассейнов рек ГМБ мы проводили совместно с квалифицированными специалистами: дерматологами, неврологами и гинекологами. Для определения влияния мышьяка на состояние здоровья людей к настоящему времени наша медицинская группа провела скрининг 120 тысяч человек, проживающих в долинах ГМБ, и обнаружила, что среди них арсеникальные поражения кожных покровов имеют 13793 человека. Токсичность мышьяка является причиной таких дерматологических проявлений как меланоз, кератоз, язвы, гангрена и рак кожи. Распространенность клинически выраженной невропатии устанавливалась по случаям с манифестацией кожных

\* Адрес для переписки:

Dipankar Chakraborti,

School of Environmental Studies, Jadavpur University,

Kolkata – 700 032, India

e-mail: dcsoesju@vsnl.com

проявлений, где отмечались типичные неврологические симптомы. Возможная зависимость между воздействием мышьяка и неблагоприятным исходом беременности была установлена вследствие оценки исхода беременности, включая самопроизвольный аборт, преждевременные роды, рождение мертвого плода, а также неонатальную и перинатальную смертность. Мы проанализировали 52427 биологических образцов (волосы, ногти, моча и кожные соскобы), 60% из которых были взяты у пациентов с арсеническими поражениями, а остальные 40% – у людей без клинических проявлений, но проживающих в тех же населенных пунктах. У 85% последних анализ также выявил повышенный уровень мышьяка. Таким образом, многие жители обследованных территорий поражены мышьяком субклинически. Проведя скрининг почти 19 тысяч детей из загрязненных мышьяком территорий, мы обнаружили 1100 детей с арсеническими поражениями кожи. Наши исследования показали, что дети более чувствительны к мышьяку, чем взрослые. В этой связи, поскольку в настоящее время не существует медицинских средств против хронической интоксикации мышьяком, стратегия по снижению неблагоприятного воздействия мышьяка на здоровье людей должна обеспечивать использование безопасной питьевой воды с применением одного или нескольких вариантов: надлежащее регулирование стока и очистка поверхностных вод, глубокие трубчатые колодцы незагрязненные токсичными веществами, выкопанные колодцы, сбор дождевой воды и установки для удаления из воды мышьяка. В решении этой проблемы необходимо подчеркнуть роль улучшенного питания и надлежащего информирования жителей. Особенно важно привлечение женщин для участия в общественной деятельности, что является необходимой составляющей любого подхода к решению проблемы.

**ABSTRACT:** Based on our last 19 years survey on groundwater arsenic contamination in Ganga-Meghna-Brahmaputra (GMB) plain [an area of 569,749 km<sup>2</sup>, with a population of over 500 million], we predict a good portion of GMB plain is arsenic affected. During last 19 years we analyzed 219,584 hand tubewell water samples for arsenic from GMB plain by flow injection - hydride generation - atomic absorption spectrometry (FI-HG-AAS). We undertook medical survey with a group comprising of experienced dermatologists, neurologists, and gynecologists in the arsenic affected regions of GMB plain. So far our medical team had screened 120,000 individuals from GMB plain for arsenical health effects and registered 13,793 of them having arsenical skin lesions. Dermatological symptoms due to arsenic toxicity included melanosis, keratosis, ulcer, gangrene, and skin cancer. The prevalence of clinical neuropathy was ascertained in cases already showing arsenical dermal effects by diagnosing typical neurological items. A probable relation between arsenic exposure and adverse pregnancy outcome was established through judging different reproductive end points including spontaneous abortion, preterm birth, stillbirths, neonatal and perinatal mortality. Analyses of 52,427 biological samples (hair,

nail, urine, and skin scales) collected 60% from arsenic patients and rest non-patients but living in the same village and 85% of them had arsenic above normal level. Thus many villagers are subclinically affected. Screening around 19,000 children from, arsenic affected areas we identified 1100 with arsenical skin lesions. Our studies show that children are more vulnerable to arsenic toxicity compared to adults. In these circumstances as no medicine is known for chronic arsenic toxicity, successful safe water should be provided involving one or more of the options: surface water with proper watershed management and purification, deep tubewells, dugwells, rainwater harvesting, and arsenic removal plants. Awareness program and role of better nutrition in combating the problem should be stressed. Community involvement especially participation of women should be integral part of any approach.

## 1. Введение

По результатам исследований загрязненности подземных вод мышьяком в долинах рек Ганг, Мегхна и Брахмапутра (ГМБ) (площадью 569749 км<sup>2</sup> и с населением свыше 500 млн. человек), проведенных в течение последних 20 лет, мы предположили, что большая часть территории всех штатов в бассейнах рек Ганг и Брахмапутра в Индии (Уттар-Прадеш, Бихар, Джарханд, Западная Бенгалия, Ассам и некоторых северо-восточных горных штатов, например Манипур) и Бангладеш в бассейнах рек Падма, Мегхна и Брахмапутра могут быть загрязнены мышьяком. В работе 1976 года сообщалось о загрязнении мышьяком территорий в городе Чандигар и некоторых областях в штате Пенджаб и в северной Индии (Datta et al., 1976). В 1984 году была впервые описана контаминация подземных вод мышьяком в низовьях реки Ганг в Западной Бенгалии (Garai et al., 1984). В 1992 году мы установили, что подземные воды в бассейнах рек Падма, Мегхна и Брахмапутра в Бангладеш загрязнены мышьяком (Dhar et al., 1997). Только в 1995 году на конференции, проходившей в Калькутте, была освещена проблема загрязнения мышьяком территорий в Западной Бенгалии как причины заболеваний людей (International Conference, 1995). Совместно с государственным госпиталем в г. Дакка в Бангладеш мы организовали в 1998 году другую международную конференцию, чтобы привлечь внимание общественности к проблеме загрязнения мышьяком территорий в Бангладеш, которая в данном контексте является наихудшей страной в мире. В 2001 году было выявлено загрязнение подземных вод мышьяком в области Тераи в Непале (Shrestha et al., 2003). В июне 2002 года мы обнаружили контаминацию мышьяком подземных вод в штате Бихар в среднем течении реки Ганг и ожидали найти загрязнение воды в штате Уттар-Прадеш лежащем в средней и верхней части бассейна реки Ганг (Chakraborti et al., 2003).

Мы установили загрязнение мышьяком и его влияние на состояние здоровья людей в штатах Уттар-Прадеш, Джарханд и Ассам соответственно в течение октября-декабря 2003 года; декабря 2003 – января 2004 гг. и января-февраля 2004 года (Chakraborti et al.,

2004, Ahamed et al., 2006). На протяжении мая 2006 года мы провели предварительное исследование в штате Манипур, одном из северо-восточных горных штатов Индии, и обнаружили, что вода в самодельных трубчатых колодцах в этой области, где более чем 60% населения живут на значительном удалении друг от друга, загрязнена мышьяком.

Итак, суммируя результаты наших исследований, мы можем заключить, что подземные воды в штатах и странах бассейна ГМБ и близлежащих территорий загрязнены мышьяком. Проведены исследования по влиянию мышьяка на состояние здоровья людей и выявлено, что мышьяк оказывает дерматологическое и неврологическое влияния и оказывает неблагоприятное воздействие на исход беременности; мы также особо подчеркнули субклинические признаки воздействия мышьяка на детей в загрязненных областях. Также обсуждался подбор альтернативного источника безопасной по санитарным нормам воды.

## 2. Методы

### 2.1 Область исследования

Рисунок 1 показывает загрязненные мышьяком территории Бангладеш и штатов Индии в бассейне ГМБ и соседних областей, где мы проводили наше

исследование.

### 2.2 Административное деление

Индия разделена на 29 штатов. Штаты делятся на округа, каждый округ включает несколько районов. Местные органы самоуправления грам-панчаяты (низовые панчаяты) объединяют несколько деревень.

Бангладеш делится на 6 административных областей, которые состоят из нескольких округов; каждый подразделяется на несколько полицейских участков, объединяющих более мелкие единицы – союзы и деревни.

### 2.3 Процедура обследования пациентов

Процедура обследования пациентов детально описана в нашей предыдущей работе (Mukherjee et al., 2005).

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1 Состояние загрязнения подземных вод мышьяком в штатах и странах бассейна ГМБ

#### 3.1.1 Индия, штат Западная Бенгалия

На основании последнего исследования, проведенного нами в штате Западная Бенгалия (площадь 88750 км<sup>2</sup>, население 80,1 млн. человек), в состав

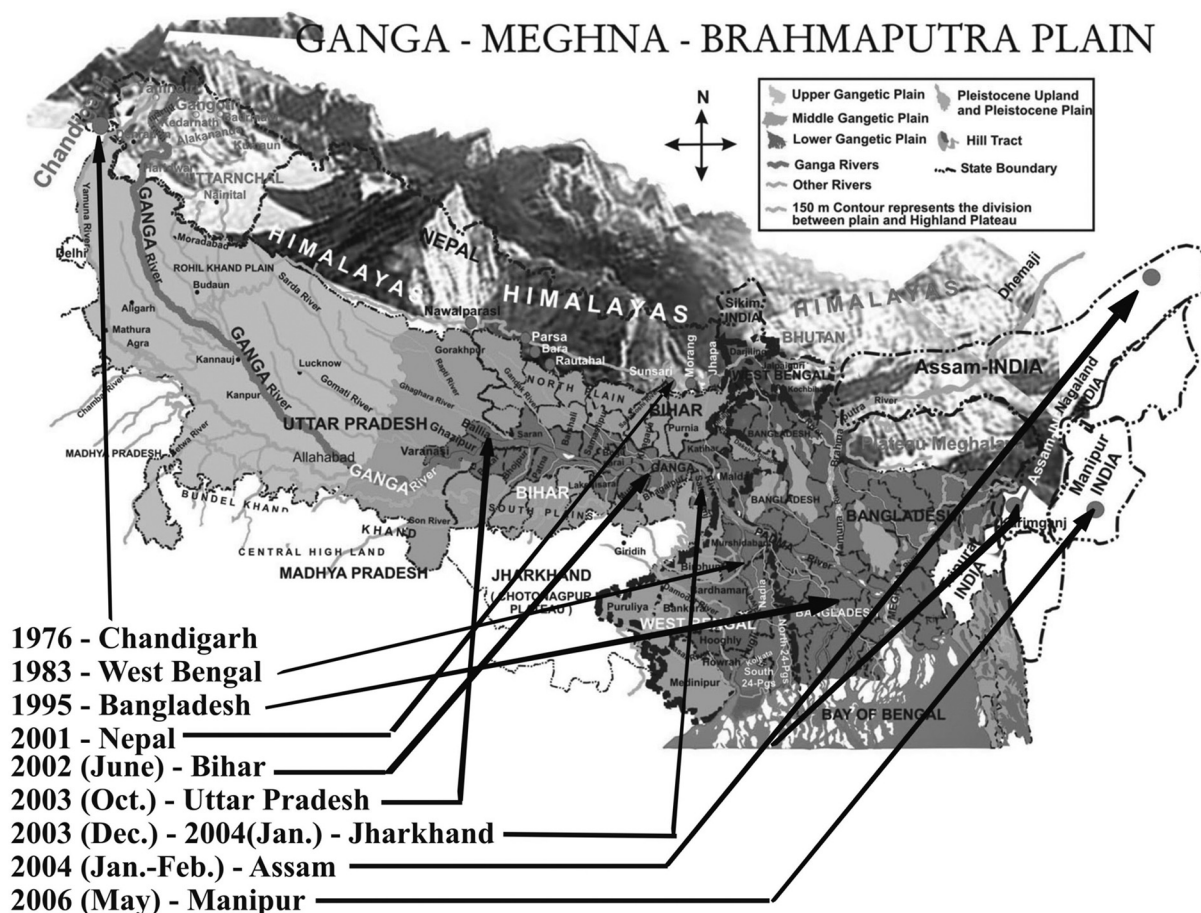


Рисунок 1. Карта загрязнения мышьяком областей в бассейне ГМБ и прилегающих территорий некоторых штатов Индии и Бангладеш, где наша группа проводила исследование по выявлению контаминации мышьяком грунтовых вод

которого входят 7823 деревни, 241 район и 19 округов, мы отметили, что территории 3417 деревень, 111 районов и 9 округов загрязнены мышьяком (конц. As > 50 мкг/л). Для оценки контаминации мышьяком воды в Западной Бенгалии мы на протяжении последних 19 лет собрали и проанализировали 140150 образцов воды из самодельных трубчатых колодцев в 19 округах штата. Результаты исследования показали, что в 48,1% трубчатых колодцев концентрация мышьяка в воде выше 10 мкг/мл, в 23,8% – выше 50 мкг/л и в 3,3% превышает 300 мкг/л (концентрация, при которой неизбежны явные арсеникальные повреждения кожи) (Rahman et al., 2002). График на рисунке 2 показывает содержание мышьяка в подземных водах в штатах Индии и Бангладеш.

### 3.1.2 Бангладеш

Совместно с сотрудниками из государственного госпиталя г. Дакка (Бангладеш) к настоящему времени мы собрали образцы воды из самодельных трубчатых колодцев в 3600 деревнях Бангладеш (всего в стране около 68 тысяч деревень, согласно переписи населения 2001 года, площадь Бангладеш составляет 147620 км<sup>2</sup>, население превышает 122 млн. человек). Из них, в 2500 деревнях концентрация мышьяка в воде колодцев была выше 10 мкг/л (что соответствует рекомендованному ВОЗ уровню мышьяка в питьевой воде) и в 2000 деревень выше 50 мкг/л (рекомендованный уровень мышьяка в питьевой воде в Бангладеш). Мы собрали образцы воды во всех 64 округах Бангладеш и на основании результатов анализа 50808 образцов заключили, что концентрация мышьяка в воде превышает 10 мкг/л в 40,3% самодельных трубчатых колодцев, а в 26,3% превышает 50 мкг/л. Данные результатов анализа наглядно представлены на рисунке 2.

### 3.1.3 Штат Бихар, Индия

Административная структура штата Бихар состоит из 37 округов. Площадь штата составляет 94163 км<sup>2</sup>, численность населения 83 млн. человек. За последние 4 года исследований мы собрали и про-

анализировали 19961 образцов воды из самодельных трубчатых колодцев в 12 округах штата и обнаружили, что во всех 12 округах концентрация мышьяка в воде превышает 50 мкг/л. Анализ 19561 образцов воды показал, что в 313 деревнях концентрация мышьяка превысила 10 мкг/л, концентрация выше 50 мкг/л наблюдалась в 240 деревнях. Рисунок 2 показывает ситуацию с загрязнением грунтовых вод мышьяком в штате Бихар.

### 3.1.4 Штат Уттар-Прадеш, Индия

Площадь штата Уттар-Прадеш, расположенного в бассейне верхнего и среднего течения реки Ганг, составляет 238 тыс. км<sup>2</sup>, численность населения 166 млн. человек. Административно Уттар-Прадеш состоит из 70 округов. В 2003 году мы оценили уровень загрязнения грунтовых вод мышьяком штата Уттар-Прадеш (Chakraborti et al., 2003). Анализ образцов воды из 4780 трубчатых колодцев в трех округах Баллия, Варанаси и Газиपुर этого северного региона Индии в среднем и верхнем течении реки Ганг выявил, что концентрация мышьяка превышала 10 мкг/л в 46,5% образцов, в 27,7% превышала 50 мкг/л и в 9,45% превышала 300 мкг/л. Была отмечена концентрация мышьяка до 3192 мкг/л (Ahmad et al., 2006a). Концентрации мышьяка на территории штата Уттар-Прадеш показаны на рисунке 2.

### 3.1.5 Штат Джарханд, Индия

Административная структура штата Джарханд состоит из 18 округов. Численность населения составляет 27 млн. человек, территория – 75834 км<sup>2</sup>. Начиная с декабря 2003 года до настоящего времени, мы провели обследование всех девяти районов округа Сахибгандж штата Джарханд, которые расположены в бассейне среднего течения реки Ганг, и обнаружили, что территории трех из них загрязнены мышьяком (Chakraborti et al., 2004). Мы проанализировали более чем 3354 образцов воды из этого региона и обнаружили, что концентрация мышьяка в 35% образцов превышает 10 мкг/л, в 15,5% – выше 50 мкг/л и в 2,9% – выше 300 мкг/л (Рис. 2).

### 3.1.6 Северо-восточные штаты, Индия.

Общая площадь семи северо-восточных штатов Индии (Манипур, Сикким, Ассам, Мегхалайя, Нагаланд, Мизорам и Аруначал Прадеш) составляет 251699 км<sup>2</sup>, численность населения 35,8 млн. человек. В январе 2004 года мы выявили загрязнение подземных вод мышьяком в бассейне верхнего течения реки Брахмапутра в штате Ассам (Chakraborti et al., 2004). Из проанализированных образцов воды из 241 самодельных трубчатых колодцев в округах Дхемаджи и Каримгандж штата Ассам 42,3% содержали более 10 мкг/л мышьяка и 19,1% образцов – более 50 мкг/л. Мы также ожидали выявить загрязнение мышьяком грунтовых вод в других северо-восточных горных штатах. В подтверждение, мы обнаружили загрязнение мышьяком грунтовых вод в двух округах Тхоубал и Имфал в первом исследовании в мае 2006 года в штате Манипур. Проанализировав в общей сложности 290 образцов воды из этих округов, определили, что в 47,6% из них концентрация мышьяка составляет более 50 мкг/л и в 73% – более чем 10 мкг/л. Следует отметить, что сооружение самодельных трубчатых

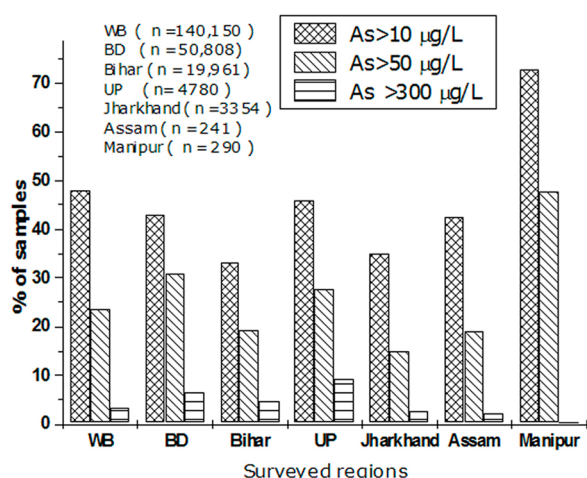


Рисунок 2. Степень загрязнения мышьяком грунтовых вод в штатах Индии и Бангладеш в бассейне ГМБ  
Примечание: WB = Западная Бенгалия, BD = Бангладеш, UP = Уттар-Прадеш.

колотцев в штате Манипур только начинается.

### 3.2 Клиническая оценка воздействий загрязнения мышьяком подземных вод в бассейне ГМБ

#### 3.2.1 Арсеникальные повреждения кожи

Во время посещения загрязненных территорий бассейна ГМБ мы наблюдали следующие признаки арсеникальной дермопатии (Mandal et al., 1996; Rahman et al., 2001; Chakraborti et al., 2004; Mukherjee et al., 2005; Saha 2003):

1. Меланоз (пигментация) и кератоз (шелушение, сухость, папулезные поражения кожи) являются ярко выраженными дерматологическими реакциями. Они могут быть пятнистыми или диффузными. Обычно меланоз проявляется раньше, чем кератоз.
2. Диффузный меланоз располагается на ладонях, подошвах и при продолжающемся воздействии мышьяка распространяется по всему телу. Пятнистый меланоз, так называемая пигментация «дождевой капли», чаще всего поражает грудь, спину и конечности. Лейкомеланоз (чередование очагов пигментации и депигментации) обычно появляется позднее (после прекращения потребления контаминированной воды). Иногда встречается каплевидный меланоз (похож на черные пятнышки). Также можно наблюдать меланоз ротовой полости с пигментацией языка, десен и губ (диффузный, очаговый и пятнистый).
3. Начинаясь с ладоней и подошв (ладонно-подошвенный кератоз), в запущенной стадии роговые наслоения часто распространяются по тыльной стороне кистей рук и стоп, и даже по другим частям тела. На ранних стадиях кератоза самочувствие больных не ухудшается, в отличие от его более поздних проявлений, и поэтому его легко пропустить, если внимательно не пальпировать ладони и стопы.
4. Образование крупных узелковых утолщений часто предшествует раку.
5. Чечевицеобразный дискоидный дискератоз (болезнь Боуэна) является предраковым заболеванием кожи, так называемой внутриэпителиальной карциномой *in situ*, которая может быть отмечена как осложнение при хроническом отравлении мышьяком.
6. Поздним признаком кожного поражения при интоксикации мышьяком являются язвы на коже, которые могут переродиться в рак.
7. Поздним осложнением является рак кожи. Интоксикация мышьяком может также быть причиной рака легких, мочевого пузыря и почек, а также, вполне вероятно, и других внутренних органов.
8. Мы отметили некоторые особенности хронической интоксикации мышьяком, о которых не упоминалось в ранних публикациях. Почти 70-75% пациентов с арсеникальными повреждениями кожи отмечали сильный зуд или климатический гипергидроз (потницу) как проявление повышенной чувствительности к солнечному свету даже зимой. Другое открытие состояло в том, что лицо не подвержено подобным повреждениям, за исключением,

в некоторых случаях, диффузного меланоза. Чувствования в глазах было отмечено в 30% случаев.

9. Подробный анамнез и системное обследование людей с комбинацией пигментации (меланоз) и узловой огрубелости кожи (кератоз ладонно-подошвенный точечный) почти всегда указывает на токсический эффект мышьяка, за исключением отдельных случаев меланоза или кератоза. Однако, поскольку имеется ряд заболеваний схожих с мышьяковым дерматозом, следует быть внимательным, подтверждая диагноз интоксикации мышьяком (Saha, 2003).

Иногда обнаруживаются другие симптомы, такие как гиперемия и припухлость стоп без возникновения ямок при надавливании (плотный отек).

Мы наблюдали, что использование питьевой воды с концентрацией мышьяка выше 300 мкг/л в течение нескольких лет может вызвать повреждения кожи (Chakraborti et al., 2002). Однако, факторы, связанные с питанием, например, характер диеты, влияют на их распространенность. Наша исследовательская группа совместно с врачами обследовала примерно 96 тысяч человек из 9 загрязненных мышьяком округов штата Западная Бенгалия. Из них 9356 человек имели арсеникальные поражения кожи. Мы также обследовали около 18991 человек из 260 деревень, 77 районов и 31 округа Бангладеш и обнаружили, что у 3762 человек имеются поражения кожных покровов. К настоящему времени в предварительном обследовании в штате Бихар наша команда проверила приблизительно 3100 человек из 17 деревень, 7 районов и 6 округов. Из них 450 человек имели повреждения кожи. Также мы проверили 989 человек из двух округов штата Уттар-Прадеш, и у 154 из них обнаружили повреждения кожи, связанные с воздействием мышьяка. В штате Джарханд мы провели проверку 562 человек из округа Саннибгандж и у 71 человека выявили подобные поражения, включая рак кожи. Рисунки 3а-3о показывают некоторые внешние признаки повреждений кожи под действием мышьяка.

#### 3.2.2 Изучение зависимости доза-эффект при воздействии мышьяка.

Рисунки 3 (а–о): некоторые явные повреждения кожи, связанные с хронической интоксикацией мышьяком



(а) Диффузный меланоз



(б) Пятнистый меланоз



(г) Лейкомеланоз



(в) Меланоз слизистой полости рта (языка)



(д) Линии Ми



(е) Пятнистый кератоз



(з) Пятнистый и диффузный кератоз подошв



(ж) Пятнистый и диффузный кератоз ладоней



(и) Отечность (отек без возникновения ямки при надавливании)



(к) Гангрена



(м) Плоскоклеточная карцинома



(л) Ампутация (ноги) вследствие гангрены



(н) Множественная плоскоклеточна карцинома



(о) Больной раком кожи

Мы не могли провести исследование зависимости доза-эффект при воздействии мышьяка на состояние здоровья людей по ряду причин. Мы не могли определить ни интервал времени контаминации мышьяком воды в трубчатых колодцах, ни продолжительность использования такой воды сельскими жителями. На основании практического опыта мы отметили, что сельские жители обычно не потребляют воду из одного колодца, и что взрослые и дети в течение 8-12 часов находятся вне своего дома. Кроме того, также необходимо отметить несколько важных взаимосвязанных факторов: (i) продолжительность воздействия мышьяка, (ii) дозировку, (iii) концентрацию мышьяка в питьевой воде, (iv) состояние питания, (v) индивидуальную вариабельность и (vi) неблагоприятные факторы, связанные с вредными привычками (курение, употребление спиртных напитков и т.д.). Учитывая все эти факторы, мы не смогли провести тщательное исследование.

### 3.2.3 Арсеникальная невропатия

Неврологическое обследование было предпринято главным образом для пациентов с хронической интоксикацией мышьяком после диагностики кожных повреждений квалифицированными дерматологами. Неврологическая часть обследования у всех пациентов была проведена одним и тем же квалифицированным неврологом, чтобы свести к минимуму вариабельность результатов у разных исследователей. Невропатия диагностировалась по следующим характерным симптомам: (i) боли и парестезия (например, чувство жжения) в ногах и руках, (ii) чувство онемения, (iii) гиперпатия/аллодиния, (iv) дистальная гипестезия (снижение чувствительности к булавочному уколу / снижение или отсутствие вибрационного восприятия / нарушение чувствительности в местах сочленения суставов / нарушение осязания), (v) болезненность задней части голени, (vi) слабость/атрофия дистальных мышц конечностей или нарушение походки и (vii) снижение или отсутствие сухожильных рефлексов. В наших исследованиях была отмечена повсеместная распространенность клинической невропатии, что основывалось на предварительно определенных показателях в выборке (Rahman et al., 2001; Feldman et al., 1979; Galer et al., 1998) объемом 980 человек, которые подвергались детальному неврологическому обследованию, и был зарегистрирован 471 случай заболевания среди населения округов Муршидабад и Надия штата Западная Бенгалия, округа Бходжпур штата Бихар и округа Балия, а также округа Газиपुर в штате Уттар-Прадеш в Индии и округа Комилла в Бангладеш (Rahman et al., 2001; Mukherjee et al., 2003; Chakraborti et al., 2003; Chakraborti et al., 2004; Mukherjee et al., 2005; Ahamed et al., 2006a, 2006b). Рисунок 4 показывает больного невропатией при хронической интоксикации мышьяком.

### 3.2.3 Содержание мышьяка в питьевой воде и его влияние на исход беременности

Воздействие мышьяка на протяжении беременности может оказывать неблагоприятное влияние на ее исход. В проведенных нами исследованиях мы изучили взаимосвязь между воздействием мышьяка



Рисунок 4. Пациент с типичной невропатией при отравлении мышьяком

и неблагоприятным исходом беременности, включая самопроизвольный аборт, рождение недоношенного ребенка, рождение мертвого плода, рождение маловесного ребенка, а также неонатальную и перинатальную смертность (Chakraborti et al., 2003, 2004). Все эти показатели сравнивали с такими же показателями у женщин из незагрязненных мышьяком областей (например, округ Мединипур в штате Западная Бенгалия). В наших исследованиях отмечалось неблагоприятное влияние мышьяка на беременность. Под наблюдением находились примерно 56 взрослых женщин из деревень округа Муршидабад в штате Западная Бенгалия (Chakraborti et al., 2004; Mukherjee et al., 2005), округа Бходжпур штата Бихар (Chakraborti et al., 2003), округа Баллия штата Уттар-Прадеш (Ahamed et al., 2006a) или округа Комилла в Бангладеш (Ahamed et al., 2006b).

Проведенное на Тайване исследование указывает на сравнительно невысокий процент рождений недоношенных детей среди населения, подвергавшегося воздействию мышьяка (Yang et al., 2003). В предыдущих исследованиях в штатах Бихар (Chakraborti et al., 2003) и Западная Бенгалия (Chakraborti et al., 2004) мы показали, что число рождений недоношенных детей было значительно выше. Всестороннее исследование, проведенное Янгом с соавторами (Yang et al., 2003) предоставило доказательства рождений детей с низкой массой тела. О самопроизвольных абортах уже упоминалось в более ранних работах (Nordstrom et al., 1979; Ahmad et al., 2001; Aschengrau 1989). В ряде работ отмечали высокий процент рождения мертвых

детей (Ahmad et al., 2001; Yang et al., 2003), а также рождения детей с низкой массой тела (Ahmad et al., 2001). На рис. 5 представлена фотография женщины (с меланозом языка) с неблагоприятным исходом беременности при воздействии мышьяка.

### 3.3 Субклинические эффекты мышьяка

Содержание мышьяка в волосах, ногтях и моче играет важную роль в оценке нагрузки мышьяка на организм человека (NRC, 1993). К настоящему времени мы проанализировали 40 тысяч биологических образцов, собранных в загрязненных мышьяком областях штата Западная Бенгалия (включая 10 тысяч образцов кожных соскобов), 10 тысяч образцов из Бангладеш, 1860 из штата Бихар, 200 из Уттар-Прадеш и 367 образцов из штата Джарханд. Обнаруженная в ходе нашего исследования в загрязненных мышьяком деревнях штатов Бихар, Уттар-Прадеш и Джарханд высокая концентрация мышьяка в моче, как у пациентов с клиническими проявлениями арсеникозов, так и без таковых, указывает, что все они употребляли загрязненную мышьяком питьевую воду (Chakraborti et al., 2003; Chakraborti et al., 2004). Из анализа биологических образцов, собранных на территории бассейна ГМБ следует, что многие сельские жители могут не страдать от арсеникальных поражений кожи, но при этом иметь в волосах и ногтях повышенный



Рисунок 5. Женщина (меланоз языка) использовала загрязненную мышьяком воду (1025 мкг/л) и была исследована на предмет неблагоприятного исхода беременности (содержание мышьяка в волосах составило 6,2 мкг/кг)

уровень мышьяка, что указывает на вероятность субклинического поражения, в том числе кожного.

### 3.4 Влияние мышьяка на здоровье детей

Считается, что дети более чувствительны к действию некоторых токсичных веществ (NRC, 1993). В ходе практической работы в бассейне ГМБ мы отметили, что обычно дети (младше 11 лет) не имеют арсеникальных повреждений кожных покровов, хотя в их биологических образцах уровень мышьяка может быть повышен. Однако мы отметили исключения в тех случаях, когда: (i) концентрация мышьяка в потребляемой воде очень высока (выше 1000 мкг/л) и (ii) концентрация мышьяка в питьевой воде не так высока (около 500 мкг/л), но дети получают недостаточное питание (Chowdhury et al., 2000). Так, мы проанализировали 10500 образцов волос и ногтей (95% из них принадлежали детям без арсеникальных поражений кожи), взятых у детей младше 11 лет из загрязненных мышьяком деревень в бассейне ГМБ. 90% этих образцов содержали мышьяк в повышенном количестве (Arnold et al., 1990; Ioanid et al., 1961). Таким образом, многие дети поражены субклинически. На рисунке 6 показана группа детей с мышьяковой интоксикацией из деревни Хараил-Чапра штата Бихар. Из 30 детей арсеникальные поражения кожи присутствовали у 10 (33%). В таблице 1 приведены результаты их дерматологического обследования, определения концентрации мышьяка в питьевой воде, образцах мочи (неорганический мышьяк и его метаболиты), волос и ногтей. Если дети сталкиваются с более высоким риском, будущее следующего поколения в загрязненных мышьяком деревнях в бассейне ГМБ представляется весьма мрачным. Скрининг примерно 19 тысяч детей из загрязненных мышьяком областей Бангладеш и штатов Западная Бенгалия, Бихар, Уттар-Прадеш, Джарханд в Индии обнаружил, что почти 1100 детей имеют повреждения кожи, обусловленные интоксикацией мышьяком.

## 4. Выводы и меры по снижению отрицательных воздействий мышьяка

В настоящее время в Бангладеш и штате За-



Рисунок 6. Группа детей, среди которых 10 с арсеникозом

Таблица 1. Данные дерматологического обследования группы детей из округа Самсиптур шт. Бихар, содержание мышьяка в их биологических образцах и питьевой воде

| Код пациента | Пол/возраст | Меланоз |   |      |   |     |    | Кератоз |   |      |   |                 |                   | Содержание мышьяка   |                       |                   |  |
|--------------|-------------|---------|---|------|---|-----|----|---------|---|------|---|-----------------|-------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|--|
|              |             | Ладони  |   | Тело |   | Leu | WB | Ладони  |   | Тело |   | Дорсаль-<br>ный | в воде<br>(мкг/л) | в ногтях<br>(мкг/кг) | в волосах<br>(мкг/кг) | в моче<br>(мкг/л) |  |
|              |             |         |   |      |   |     |    |         |   |      |   |                 |                   |                      |                       |                   |  |
|              |             | S       | D | S    | D | S   | D  | S       | D | S    | D |                 |                   |                      |                       |                   |  |
|              |             |         |   |      |   |     |    |         |   |      |   |                 |                   |                      |                       |                   |  |
| Subject 1    | M/5         | -       | - | +    | + | -   | -  | -       | - | -    | - | 559             | 6000              | 2091                 | 1991                  |                   |  |
| Subject 2    | Ж/7         | -       | + | -    | + | -   | -  | -       | - | -    | - | 559             | 12521             | 8306                 | NA                    |                   |  |
| Subject 3    | Ж/10        | -       | + | +    | + | -   | +  | -       | - | -    | - | 830             | 7380              | 2317                 | NA                    |                   |  |
| Subject 4    | M/11        | -       | + | +    | + | -   | -  | -       | - | -    | - | 573             | 11019             | 2991                 | 800                   |                   |  |
| Subject 5    | Ж/11        | -       | - | +    | + | -   | -  | -       | - | -    | - | 559             | NA                | 4050                 | NA                    |                   |  |
| Subject 6    | M/10        | -       | + | +    | + | -   | -  | -       | - | -    | - | 415             | 2251              | 1256                 | 512                   |                   |  |
| Subject 7    | M/10        | -       | + | -    | + | -   | +  | -       | - | -    | - | 923             | 8201              | 3456                 | 1021                  |                   |  |

Примечание: S = Пятнистый, D = Диффузный, Leu = Лейкомеланоз, WB = По всему телу; + Легкая форма, ++ Умеренная, +++ Тяжелая, - = Не обнаружено, NA= Анализ не проведен

падная Бенгалия все меньше людей используют загрязненную мышьяком питьевую воду благодаря возрастающей осведомленности населения в вопросах загрязнения источников воды мышьяком и доступу к незагрязненной воде. Но в большинстве загрязненных мышьяком областей в штатах Бихар, Уттар-Прадеш, Джарханд, Ассам и Манипур жители деревень до сих пор употребляют загрязненную воду, поскольку эта проблема еще не получила всеобщего признания. Так как большинство этих штатов остаются сравнительно необследованными в отношении контаминации мышьяком, требуются более интенсивные и масштабные исследования для установления степени загрязнения этих территорий. Стратегию по снижению отрицательных последствий интоксикации необходимо выбирать в каждой местности в зависимости от применимости различных вариантов защиты от загрязнения мышьяком.

**Глубинные трубчатые колодцы.** Для бытовых нужд наиболее пригодны колодцы, вырытые на большую глубину, чтобы использовать водоносные слои, не загрязненные мышьяком и другими переносимыми водой вредными веществами. Точно установлено, что в долине Ганга загрязнение воды мышьяком в самодельных трубчатых колодцах снижалось, если глубина скважины была более определенного уровня (Roychowdhury et al., 1999), но в неограниченных водоносных пластах в областях, загрязненных мышьяком, нет гарантии отсутствия контаминации воды мышьяком на глубине, даже если трубчатый колодец построен надлежащим образом. Безопасность глубинных трубчатых колодцев зависит от геологического строения подземных горизонтов. Мы отметили, что в Бангладеш вода даже в очень глубоких трубчатых колодцах (глубиной 100-415 м) загрязнена мышьяком (Chakraborti et al., 1999). Об этом говорится и в докладе Британской геологической службы (BGS-DPHE, 2001). Эти трубчатые колодцы также необходимо регулярно проверять, поскольку существует вероятность временного повышения концентрации мышьяка (Chakraborti et al., 2001).

**Шахтные (срубные) колодцы.** С появлением самодельных трубчатых колодцев использование шахтных колодцев существенно уменьшилось из-за бактериальной загрязненности воды в шахтных колодцах, вследствие чего кишечные заболевания преобладают среди тех, кто употребляет эту воду. Надлежащее содержание шахтных колодцев требует соблюдения следующих условий: (i) бетонированное сооружение с резервуаром для воды. (ii) правильное месторасположение, (iii) предотвращение поверхностного загрязнения с использованием экрана из мелкой сетки или стекловолоконка для прикрытия, (iv) чистка колодца каждые 3 месяца с использованием извести и гипохлорита натрия, а также удаление некоторого количества донного осадка [во время чистки колодца вода должна быть запасена в специальном резервуаре] и (v) даже если бактерии не обнаруживаются после периодической чистки, мы рекомендуем ежедневно на ночь добавлять в воду несколько капель раствора гипохлорита натрия (в зависимости от состояния воды в колодце). Можно

использовать источник УФ излучения (если имеется электричество) для обеззараживания резервуара. Раз в год из колодца необходимо удалять донный осадок, тем самым поддерживая сохранность песчаного слоя на дне колодца.

**Сбор дождевой воды.** В некоторых штатах Индии и южных областях Бангладеш до сих пор распространен сбор населением дождевой воды. В нынешних условиях, если дождевая вода собрана с чистого водосборника на крыше в резервуар для хранения, и соблюдаются меры предосторожности против бактериальной контаминации, запасенной дождевой водой можно пользоваться не менее 4-5 месяцев в году.

**Установки для удаления мышьяка из воды.** Одной из возможных мер по снижению действия мышьяка было использование установок по удалению мышьяка из воды. Монтаж таких установок в Индии, в штате Западная Бенгалия начался в конце 1998 года. Мы провели двухлетнее систематическое исследование с целью оценки эффективности 19 таких установок, изготовленных на 11 разных национальных и интернациональных предприятиях, в районе Баруипур округа Юг-24-Парганас; на основании полученных результатов мы отметили неэффективность и низкую надежность таких установок (Hossain et al., 2005). Наша практическая работа позволила отметить, что основными препятствиями в программе по снижению неблагоприятного воздействия мышьяка являются недостаточная осведомленность населения и отсутствие необходимой информации (Hossain et al., 2006). Если установки будут надлежащим образом обслуживаться пользователями, они могут стать приемлемой альтернативой.

**Роль улучшенного питания.** В настоящее время нет легкодоступных лекарственных средств для лечения хронической интоксикации мышьяком; безопасная вода, полноценное питание, витамины и физическая нагрузка – единственные превентивные меры в борьбе с хронической мышьяковой интоксикацией. Недавнее исследование (Mitra et al., 2004) в 57 деревнях в округе Юг-24-Парганас в штате Западная Бенгалия продемонстрировало, что недостаточное питание способно удвоить риск развития повреждений кожи при воздействии мышьяка. Сезонные фрукты и овощи в загрязненных мышьяком деревнях на территории бассейна ГМБ доступны в изобилии в течение всего года. Большинство сельских жителей не знают, что они могут улучшить свое питание, потребляя местные фрукты и овощи; им предстоит этому научиться. Термическая обработка овощей и фруктов также разрушает необходимые питательные вещества.

**Роль общественной деятельности.** Для успешного решения проблемы по снижению неблагоприятного воздействия мышьяка большое значение имеет общественная деятельность, особенно участие женщин. Информационно-просветительная кампания должна включать следующие позиции:

- a) Опасность питьевой воды, в которой содержится мышьяк
- b) Неблагоприятное влияние мышьяка на состояние здоровья людей

- в) Необходимость удаления мышьяка
- г) Важность поддержания качества питьевой воды с использованием новейших технических достижений в местах загрязнения мышьяком и другими вредными веществами. Результаты периодической проверки могут быть представлены рядом с источником.
- д) Роль улучшенного питания в борьбе с хронической интоксикацией мышьяком

## Литература

- Ahamed S., Sengupta M.K., Mukherjee A., Hossain M.A., Das B., Nayak B., Pal A., Mukherjee S.C., Pati S., Dutta R.N., Chatterjee G., Mukherjee A., Srivastava R., Chakraborti D. Arsenic groundwater contamination and its health effects in the state of Uttar Pradesh (UP) in upper and middle Ganga plain, India: A severe danger // *Sci Total Environ.* 2006a, 370: 310-322.
- Ahamed S., Sengupta M.K., Mukherjee S.C., Pati S., Mukherjee A., Rahman M.M., Hossain M.A., Das B., Nayak B., Pal A., Zafar A., Kabir S., Banu S.A., Morshed M., Islam T., Rahman M.M., Quamruzzaman Q., Chakraborti D. An eight-year study report on groundwater arsenic contamination and health effects in Eruani village, Bangladesh and an approach for its mitigation // *Journal of Health, Population and Nutrition (JHPN)*. 2006b, P.129-141.
- Ahmad S., Sayed M.H., Barua S., Khan M.H., Faruquee M.H., Jalil A., Hadi S.A., Talukder H.K. Arsenic in drinking water and pregnancy outcome // *Environ. Health Perspect.* 2001, 109: 629-631.
- Arnold H.L., Odam R.B., James W.D. Disease of the skin // *Clinical Dermatology*: Philadelphia, W. B. Saunders. 1990. P.121-122.
- Aschengrau A., Zierler S., Cohen A. Quality of community drinking water and the occurrence of spontaneous abortion // *Arch. Environ. Health.* 1989, 44: 283-290.
- BGS/DPHE. Arsenic contamination of groundwater in Bangladesh. Kinniburgh D.G.; Smedley P.L., (Eds.): Final Report, BGS Technical Report WC/00/19; British Geological Survey; Keyowrth, U.K., 2001.
- Chakraborti D., Basu G.K., Biswas B.K., Chowdhury U.K., Rahman M.M., Paul K., Chowdhury T.R., Chanda C.R., Lodh D. Characterization of arsenic bearing sediments in Gangetic delta of West Bengal-India // W.R.Chappell, C.O.Abernathy, R.L.Calderon (Eds.) Arsenic exposure and health effects. Elsevier science, Amsterdam. 2001. P.27-52.
- Chakraborti D., Biswas B.K., Basu G.K., Chowdhury U.K., Roy Chowdhury T., Lodh D., Chanda C.R., Mandal B.K., Samanta G., Chakraborti A.K., Rahman M.M., Roy S., Kabir S., Ahmed B., Das R., Salim M., Quamruzzaman Q. Possible arsenic contamination free groundwater source in Bangladesh // *Journal Surface Science Technology.* 1999, 15: 180-188.
- Chakraborti D., Mukherjee S.C., Pati S., Sengupta M.K., Rahman M.M., Chowdhury U.K., Lodh D., Chanda C.R., Chakraborty A.K., Basu G.K. Arsenic groundwater contamination in Middle Ganga Plain, Bihar, India: A Future Danger // *Environ Health Perspect.* 2003, 111(9): 1194-1201.
- Chakraborti D., Rahman M.M., Paul K., Chowdhury U.K., Sengupta M.K., Lodh D., Chanda C.R., Saha K.C., Mukherjee S.C. Arsenic calamity in the Indian sub-continent – what lessons have been learned? // *Talanta.* 2002, 58: 3-22.
- Chakraborti D., Sengupta M.K., Rahman M.M., Ahamed S., Chowdhury U.K., Hossain M.A., Mukherjee S.C., Pati S., Saha K.C., Dutta R.N., Quamruzzaman Q. Groundwater arsenic contamination and its health effects in the Ganga-Meghna-Brahmaputra Plain // *J. Environ. Monit.* 2004, 6: 75N-83N.
- Chowdhury U.K., Biswas B.K., Chowdhury T.R., Samanta G., Mandal B.K., Basu G.K., Chanda C.R., Lodh D., Saha K.C., Mukherjee S.C., Roy S., Kabir S., Quamruzzaman Q., Chakraborti D. Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal India // *Environ Health Perspect.* 2000, 108(5): 393-396.
- Datta D.V., Kaul M.K. Arsenic content of tubewell water in villages in northern India. A concept of arsenicosis // *J Assoc Physicians India.* 1976, 24: 599-604.
- Dhar R.K., Biswas B.K., Samanta G., Mandal B.K., Chakraborti D., Roy S., Jafar A., Islam A., Ara G., Kabir S., Khan A.W., Ahmed S.A., Hadi S.A. Groundwater arsenic calamity in Bangladesh // *Current Sci.* 1997, 73(1): 48-59.
- Feldman R.G., Niles C.A., Kelly-Hayes M., Sax D.S., Dixon W.J., Thomson D.J., Landau E. Peripheral neuropathy in arsenic smelter workers // *Neurology.* 1979, 29: 939-944.
- Galer B.S. Painful polyneuropathy // M.M. Backonja (Ed.). *Neuropathic Pain Syndromes*; Neurol Clin; W.B. Saunders Co.: Philadelphia. 1998, 16(4): 91-811.
- Garai R., Chakraborti A.K., Dey S.B., Saha K.C. Chronic arsenic poisoning from tubewell water // *Jr Ind Med Assoc.* 1984, 82(1): 34-35.
- Hossain M.A., Mukherjee A., Sengupta M.K., Ahamed S., Das B., Nayak B., Rahman M.M., Chakraborti D. Million dollar arsenic removal plants in West Bengal, India: Useful or not? // *Water Quality Research Journal of Canada.* 2006, 41(2): 216-225.
- Hossain M.A., Sengupta M.K., Ahamed S., Rahman M.M., Mondal D., Lodh D., Das B., Nayak B., Roy B.K., Mukherjee A., Chakraborti D. Ineffectiveness and Poor Reliability of Arsenic Removal Plants in West Bengal, India // *Environmental Science & Technology.* 2005, 39: 4300-4306.
- International Conference on Arsenic in Groundwater: Cause, Effect and Remedy, School of Environmental Studies, Jadavpur University, Calcutta, India, 6-8 February 1995.
- Ioanid N., Bors G., Popa I. Beitrage zur kenntnis des normalen arsengehaltes von nageln und des Gehaltes in den Faillen von Arsenpolyneuritis // *Zeit. Gesamte. Gerichtl. Med.* 1961, 52: 90-94 [in German].
- Mandal B.K., Roy Chowdhury T., Samanta G., Basu G.K., Chowdhury P.P., Chanda C.R., Lodh D., Karan N.K., Dhar R.K., Tamili D.K., Das D., Saha K.C., Chakraborti D. Arsenic in groundwater in seven districts of West Bengal, India the biggest arsenic calamity in the world // *Current Science.* 1996, 70: 976-986.
- Mitra S.R., Guha Mazumder D.N., Basu A., Block G., Haque R., Samanta S., Ghosh N., Hira-Smith M.M., Ehrenstein O.V., Smith A.H. Nutritional factors and susceptibility to arsenic-caused skin lesions in West Bengal India // *Environmental Health Perspectives.* 2004, 112: 1104-1109.
- Mukherjee S.C., Saha K.C., Pati S., Dutta R.N., Rahman M.M., Sengupta M.K., Ahamed S., Lodh D., Das B., Hossain M.A., Nayak B., Palit S.K., Kaies K., Barua A.K., Asad K.A., Mukherjee A., Chakraborti D. Murshidabad – one of the nine groundwater arsenic affected districts of West Bengal India. Part II: dermatological neurological and obstetric

- findings // *Clin Toxicol.* 2005, 43: 835-848.
- Mukherjee S.C., Rahman M.M., Chowdhury U.K., Sengupta M.K., Lodh D., Chanda C.R., Saha K.C., Chakraborti D. Neuropathy in arsenic toxicity from groundwater arsenic contamination in West Bengal-India // *J Environ Sci Health.* 2003, A38(1): 165-183.
- Nordstrom S., Beckman L., Nordenson I. Occupational and environmental risks in and around a smelter in Northern Sweden. V. Spontaneous abortion among female employees and decreased birth weight in their offspring // *Hereditas.* 1979, 90: 291-296.
- NRC. Arsenic in drinking water Washington, DC: National Academy Press; National Research Council, USA, 1993.
- Rahman M.M., Chowdhury U.K., Mukherjee S.C., Mondal B.K., Paul K., Lodh D., Chanda C.R., Basu G.K., Saha K.C., Roy S., Das R., Palit S.K., Quamruzzaman Q., Chakraborti D. Chronic arsenic toxicity in Bangladesh and West Bengal-India – a review and commentary // *Journal of Toxicology: Clin Toxicol.* 2001, 39(7): 683-700.
- Rahman M.M., Mukherjee D.P., Sengupta M.K., Chowdhury U.K., Lodh D., Chanda C.R., Roy S., Selim M., Quamruzzaman Q., Milton A.H., Shahidullah A.H., Tofizur M.R., Chakraborti D. Effectiveness and reliability of arsenic field testing kits: Are the millions dollar screening projects effective or not! // *Environ. Sci. Technol.* 2002, 36: 5385-5394.
- Roychowdhury T., Basu G.K., Mandal B.K., Biswas B.K., Chowdhury U.K., Chanda C.R., Lodh D., Roy S.L., Saha K.C., Roy S., Kabir S., Quamruzzaman Q., Chakraborti D. Arsenic poisoning in the Ganges delta // *Nature.* 1999, 401: 545-546.
- Saha K.C. Diagnosis of arsenocosis // *Journal of Environmental Science & Health.* 2003, A38: 255-272.
- Sengupta M.K., Ahamed S., Hossain M.A., Rahman M., Lodh D., Das B., Dey B., Paul B., Rey P.K., Chakraborti D. Increasing time trends in hand tubewells and arsenic contamination in affected areas of West Bengal, India // *Proceedings of the 5th International Conference on Arsenic: Developing Country Perspectives on Health, Water and Environmental Issues*, Dhaka, Bangladesh, Feb 15-17, 2004.
- Shrestha R.R., Surestha M.P., Upadhyay N.P., Pradhan R., Maskey A., Maharjan M., Tuladhar S., Dahal B.M., Shrestha K. Groundwater arsenic contamination, its health impact and mitigation program in Nepal // *J Environ Sci Health.* 2003, A38(1): 185-200.
- Yang C.Y., Chang C.C., Tsai S.S., Chuang H.Y., Ho C.K., Wu T.N. Arsenic in drinking water and adverse pregnancy outcome in an arseniasis-endemic area in Northeastern Taiwan // *Environ. Res.* 2003, 91: 29-34.