

Янин Е. П. Фтор в питьевых водах и его влияние на интеллектуальное развитие детей // Экологическая экспертиза, 2010, № 3, с. 57–65.

Главным источником поступления фтора в организм человека обычно являются питьевые воды, причем его концентрации в них выше 2 мг/л в подавляющем большинстве случаев вызывают развитие у людей различных форм гиперфтороза, т. е. заболеваний, обусловленных хроническим избытком фтора, прежде всего, флюороз зубов и скелета [1, 2, 4, 6, 7, 9, 16]. В последние годы получены данные, свидетельствующие о том, что избыточные дозы фтора, поступающие в организм с питьевой водой, оказывают негативное влияние на интеллектуальное развитие детей [8, 17, 20]. Это, в частности, подтверждается статистически достоверной связью между высокими концентрациями фтора в питьевой воде и снижением значений коэффициента интеллектуальности (англ. «*Intelligence quotient*», сокр. IQ, «Ай-Кью») у детей. Как известно, коэффициент интеллектуальности представляет собой показатель умственного развития, уровня имеющихся знаний и осведомленности. Его получают на основе различных тестов, которые определяют у того или иного человека степень способности мыслить абстрактно, рассуждать, решать задачи, узнавать новое, наблюдать и понимать происходящее. В сущности, коэффициент IQ представляет собой отношение так называемого умственного возраста (УВ) к истинному, хронологическому возрасту (ИВ) данного лица по формуле: $IQ = (УВ / ИВ) \times 100\%$. Умственный возраст определяется результатами тестирования с помощью одной из возрастных шкал интеллекта. Для каждого возрастного периода, исчисляемого в годах, уровень (норма) достигнутых знаний и умений полагается равным 100. Отклонение от этого стандарта позволяет судить об опережении или отставании в умственном развитии.

К настоящему времени особенно большой объем исследований, направленных на установление влияния питьевых вод, обогащенных фтором, на интеллектуальное развитие детей, выполнен китайскими исследователями [11–14, 23–26]. Подобный интерес к данной проблеме обусловлен тем, что в пределах Китая широко развиты гиперфторовые биогеохимические провинции (как природные, так и природно-техногенные), в которых проживают сотни миллионов человек, а различные формы гиперфтороза являются одними из самых массовых заболеваний, которыми страдают десятки миллионов людей [1, 4].

Так, в китайской провинции Шаньси дети (возрастом 7–14 лет и независимо от пола), проживающие в эндемичной по фтору деревне Сима (содержание фтора в питьевой воде 4,12 мг/л) в целом имели средний коэффициент интеллектуальности существенно ниже, чем дети, проживающие в деревне Синьхуа с более низкими концентрациями (0,91 мг/л) фтора в питьевой воде [26] (табл. 1). Например, в эндемичной по фтору деревне доля детей, имеющих значения $IQ = 89$ и менее, составляла 28,76%, а в деревне с «нормальным» уровнем фтора в питьевой воде – 19,99%. Соответственно, в первом случае доля детей с $IQ = 110$ и более достигала 28,12%, а во втором – 43,76% (табл. 2). Установлено также, что среднее значение IQ у детей разных возрастных групп, проживающих в деревне Сима, было заметно ниже, нежели у детей из деревни Синьхуа (табл. 3). Для выяснения связи между значениями IQ детей и уровнем образования их родителей были сформированы три выборки (табл. 4). Как следует из приводимой таблицы, в общем случае IQ был

выше у детей, родителей которых имели более высокий уровень образования. Однако, что показательно, во всех выборках дети из деревни Сима (с высоким содержанием фтора в питьевой воде) отличались более низким значением IQ. Авторы цитируемой статьи приходят к выводу, что длительное употребление питьевых вод с высоким уровнем фтора обуславливает снижение темпов умственного развития детей.

Таблица 1. Средние значения IQ детей из деревень с разным уровнем фтора в питьевой воде [26]

Фтор в питьевой воде, мг/л	Кол-во обследованных детей	IQ		
		мальчики	девочки	общее
4,12	160	98,11±13,21	97,32±12,93	97,69±13,00
0,91	160	105,81±15,04	104,98±14,96	105,21±14,99

Таблица 2. Распределение значений IQ детей из деревень с разным уровнем фтора в питьевой воде [26]

IQ	Высокий уровень фтора в воде				Низкий уровень фтора в воде			
	мальчики	девочки	общее	%	мальчики	девочки	общее	%
≥ 130	1	2	3	1,88	4	3	7	4,38
120-129	9	8	17	10,62	9	11	20	12,50
110-119	11	14	25	15,62	22	21	43	26,88
90-109	36	33	69	43,12	31	27	58	36,25
80-89	10	11	21	13,13	10	13	23	14,37
70-79	10	9	19	11,88	4	4	8	5,00
≤ 69	3	3	6	3,75	0	1	1	0,62
Общее	80	80	160	100	80	80	160	100

Таблица 3. Распределение значений IQ детей разных возрастных групп [26]

Возраст детей, годы	Высокий уровень фтора в воде	Низкий уровень фтора в воде
7	88,47	95,26
8	90,92	100,47
9	92,34	102,90
10	98,28	104,34
11	100,08	105,99
12	100,99	108,03
13	103,36	111,19
14	105,83	113,28

Таблица 4. Уровень образования родителей и значения IQ детей [26]

Образование родителей	Деревня Сима		Деревня Синьхуа	
	Кол-во детей	IQ	Кол-во детей	IQ
Начальная школа и ниже	23	89,97	27	92,43
Неполная средняя школа	99	98,11	87	104,37
Полная средняя школа и выше	38	105,93	46	110,32

В другом исследовании коэффициент интеллектуальности был определен у 118 детей (возрастом 10–12 лет), посещающих школу в одном из районов Тяньцзиня (северо-восточная часть Хуабэйской равнины) [14]. Эти дети длительное время проживали в двух сходных по размерам, социально-экономическим и образовательным условиям деревнях, но различающихся уровнями фтора в питьевой воде. Дети из деревни, где питьевые воды обогащены фтором ($3,15 \pm 0,61$ мг/л), отличались и его более высокими уровнями в моче ($4,99 \pm 2,57$ мг/л), чем дети из деревни с «фоновыми» концентрациями фтора в питьевой воде (вода – $0,37 \pm 0,04$ мг/л, моча – $1,43 \pm 0,64$ мг/л). Установлено, что среднее значение IQ детей, употреблявших воду с высоким содержанием фтора, значительно ниже, чем у детей из деревни, где питьевые воды отличаются невысоким уровнем фтора (табл. 5). Как следует

из табл. 6, более 21% детей из «фторовой» деревни по значению IQ относились к категории лиц с замедленным развитием ($IQ < 70$) или к граничной категории ($IQ = 70-79$), тогда как в низкофторовом районе доля таких детей составила 3,4%. Авторы приходят к выводу, что фтор способен продуцировать возникновение биохимических и функциональных изменений в развивающемся мозге детей, что сказывается на их умственных способностях. Не исключено также, что в дефицитном по йоду районе, к которому относится изученный район, избыток фтора может ассоциироваться с нарушениями интеллекта у детей, являющихся следствием развития у них гипотирозидизма или субклинического кретинизма.

Таблица 5. Средние значения IQ детей из деревень с разным уровнем фтора в питьевой воде [14]

Фтор в питьевых водах, мг/л	Кол-во обследованных детей	Фтор в моче, мг/л	IQ
3,15±0,61	60	4,99±2,57	92,27±20,57
0,37±0,04	58	1,43±0,64	103,05±13,86

Таблица 6. Распределение значений IQ детей в зависимости от уровня фтора в питьевых водах, в % от выборки [14]

Уровень фтора в воде	IQ < 70 (низкий)	IQ 70-79 (ниже среднего)	IQ 80-89 (около среднего)	IQ 90-109 (средний)	IQ 110-119 (выше среднего)	IQ 120-129 (хороший)	IQ > 129 (превосходный)
Высокий	8,3	13,3	20,0	43,33	8,3	5,0	1,7
Низкий	0,0	3,4	10,3	51,7	22,4	8,6	3,4

Аналогичные данные приводят другие китайские исследователи, которые определили коэффициент IQ у 512 детей (возрастом 8–13 лет), проживающих в двух – с высоким и низким содержанием фтора в питьевой воде – деревнях, расположенных в китайской провинции Цзянсу [25]. В деревне (выборка 222 ребенка), где питьевые воды отличаются высоким уровнем фтора (2,47±0,79 мг/л), среднее значение IQ (92,02±13,00) было достоверно ниже, чем в деревне (290 детей) с низким содержанием фтора в питьевой воде (0,36±0,15 мг/л), где его среднее значение составило 100,41±13,21 (табл. 7, 8).

Таблица 7. Средние значения IQ детей из деревень с разным уровнем фтора в питьевой воде [25]

Фтор в питьевой воде, мг/л	Фтор в моче, мг/л	Йод в моче, мг/л	IQ		
			мальчики	девочки	общее
2,47±0,79	3,47±1,95	280,70±87,16	94,73±13,09	88,72±12,16	92,02±13,00
0,36±0,15	1,1±0,39	300,96±92,88	100,69±13,52	100,08±12,87	100,41±13,21

Таблица 8. Распределение значений IQ детей из деревень с разным уровнем фтора в питьевой воде [25]

IQ	С высоким уровнем фтора				С низким уровнем фтора			
	мальчики	девочки	общее	%	мальчики	девочки	общее	%
≥ 130	0	0	0	0	0	0	0	0
120-129	5	0	5	2,25	11	3	14	4,83
110-119	9	4	13	5,86	38	28	66	22,76
90-109	62	43	105	47,30	75	75	150	51,72
80-89	31	34	65	29,28	25	17	42	14,48
70-79	12	14	26	11,71	9	4	13	4,48
≤ 69	3	5	8	3,60	1	4	5	1,72
Общее	122	100	222	100	159	131	290	100

Показательно, что значения указанного коэффициента у детей не имели корреляции с содержанием йода в их моче, с семейным доходом и уровнем образования родителей. Лишь высокие уровни фтора в питьевой воде прямо коррелировали с высокой задержкой

(IQ < 70) и пороговым уровнем (IQ = 70-79) интеллектуального развития детей. Средний IQ детей в каждой возрастной группе в деревне с низким уровнем фтора в питьевой воде был заметно выше, чем в деревне с его высоким содержанием в воде (табл. 9).

Таблица 9. Распределение значений IQ детей разного возраста [25]

Возраст, годы	Высокий уровень фтора в питьевой воде		Низкий уровень фтора в питьевой воде	
	Кол-во детей	IQ	Кол-во детей	IQ
8	11	94,09	39	103,39
9	20	91,25	46	104,04
10	20	96,35	31	106,45
11	43	92,77	60	97,45
12	60	91,15	61	99,41
13	68	90,94	53	96,64
Общее	222	92,02	290	100,41

Влияние фтора на умственное развитие школьников (возраст 12–13 лет) изучалось индийскими учеными [21]. Дети проживали в двух деревнях, схожих по образовательным и социально-экономическим условиям, но различающихся уровнями фтора в питьевых водах. В первой деревне концентрации фтора в воде составляли $5,55 \pm 0,41$ мг/л, что обусловило его высокие уровни в моче детей ($6,13 \pm 0,67$ мг/л). Во второй деревне концентрации фтора в питьевой воде были заметно ниже – $2,01 \pm 0,09$ мг/л (в моче – $2,30 \pm 0,28$ мг/л). Установлено, что коэффициент интеллектуальности (IQ) у 89 детей из «фторовой» деревни составил $91,72 \pm 1,13$, что существенно ниже аналогичного показателя у детей из деревни с более низким уровнем фтора в питьевых водах (IQ = $104,44 \pm 1,23$).

В работе [23] приводятся результаты эпидемиологических исследований по влиянию мышьяка и фтора на развитие и умственные способности детей (возрастом 8–12 лет), проживающих в сельском районе китайской провинции Шаньси. Всего было обследовано 720 детей, в зависимости от уровня концентрации фтора и мышьяка в питьевых водах разделенных на 4 группы: 1) «мышьяковая» – употребление вод с высоким содержанием мышьяка (190 ± 183 мкг/л); 2) «средняя» – воды с содержанием мышьяка 142 ± 106 мкг/л; 3) «фторовая» – воды с низким содержанием мышьяка (3 ± 3 мкг/л) и высоким содержанием фтора ($8,3 \pm 1,9$ мг/л); 4) контрольная – воды с низкими содержаниями мышьяка (2 ± 3 мкг/л) и фтора ($0,5 \pm 0,2$ мг/л). Среднее значение IQ детей составило: 105 ± 15 в контрольной группе, 101 ± 16 в «фторовой» группе, 100 ± 16 в «средней» группе, 95 ± 17 в «мышьяковой» группе. Кроме того, дети контрольной группы отличались более высоким ростом от детей «фторовой» группы, большим весом, чем дети из «мышьяковой» группы, и имели более высокую емкость легких, чем дети «средней» группы. Авторы приходят к выводу, что интеллектуальный уровень и физическое развитие детей может зависеть от концентраций мышьяка или фтора в питьевых водах, при этом значения IQ у детей «мышьяковой» группы были самими низкими из всех обследованных групп детей.

Недавно авторы [10] провели анализ опубликованных данных, имеющих отношение к влиянию фтора на умственные способности людей. Они выявили 13 исследований, в которых установлена (в той или иной мере) связь между высокими концентрациями фтора в питьевой воде и снижением интеллектуального развития детей (табл. 10). Несколько публикаций свидетельствуют о том, что влияние водного фтора на показатель IQ было несущественным. Обращает на себя внимание, что в ряде случаев негативное влияние фтора

на снижение в развитии умственных способностей у детей особенно сильно проявлялось в районах, дефицитных по йоду.

Таблица 10. Обобщение некоторых данных по взаимосвязи водного фтора и значений IQ [10]

Автор, год	Сравниваемые группы по содержанию фтора и йода в воде	Выборка	Фтор в воде, ppm	Фтор в моче, ppm	IQ
Ren, 1989	Низкий йод	169	–	–	85
	Высокий фтор, низкий йод	160	–	–	64,8
Guo, 1990	Контроль	61	–	–	83,95
	Эндемический флюороз	60	–	–	77,30
Lin, 1991	Низкий фтор (низкий йод)	256	0,34	1,52	78
	Высокий фтор (высокий йод)	250	0,88	2,56	71
Chen, 1991	Низкий фтор	320	0,89	–	104,03
	Высокий фтор	320	4,55	–	100,24
Yang, 1994	Низкий фтор (низкий йод)	416	0,5	0,82	81,97
	Высокий фтор (высокий йод)	1102	2,97	2,03	76,67
Li, 1995	Низкий фтор	226	–	1,02	89,9
	Высокий фтор	230	–	2,69	80,3
Wang, 1996	Низкий фтор	83	< 1,0	–	101,23
	Высокий фтор	147	1,0-8,6	–	95,64
Zhao, 1996	Низкий фтор	160	0,91	–	105,21
	Высокий фтор	160	4,12	–	92,2
Lu, 2000	Низкий фтор	58	0,37	1,43	103,5
	Высокий фтор	60	3,15	4,99	92,2
Hong, 2001	Низкий фтор	32	0,75	–	82,79
	Высокий фтор	85	2,90	–	80,58
	Низкий фтор, низкий йод	28	2,94	–	68,38
Li, 2003	Низкий фтор	301	–	–	96,97
	Высокий фтор	419	–	–	88,67
Xiang, 2003	Низкий фтор	135	0,36	1,11	100,41
	Высокий фтор	155	2,47	3,47	92,02
Seraj, 2007	Низкий фтор	85	0,4	–	98,9
	Высокий фтор	41	2,5	–	87,9
Trivedi, 2007	Низкий фтор	101	2,01	2,30	100,04
	Высокий фтор	89	5,55	6,13	91,72
Wang, 2007	Низкий фтор	110	0,5	1,5	105
	Высокий фтор	106	8,3	5,1	101

Биологический механизм действия фтора на снижение умственных способностей детей все еще не ясен. Известно, что фтор способен оказывать негативное влияние на активность различных ферментов [18]. Есть доказательства того, что фтор относится к веществам, нарушающим процессы биоэнергетики в мозге, участвует в изменении мембранных липид и уменьшает активность холинэстеразы в мозге [15, 22]. Этот токсический эффект способен приводить к изменению утилизации ацетилхолина, таким образом воздействуя на нервные импульсы в тканях мозга [6, 7]. Холинэстераза, как известно, обнаружена в нейронах, которые оказывают влияние на поведение, эмоциональную память и управляющую функцию человека. В экспериментах на лабораторных животных установлено, что при хроническом воздействии на них фтора наблюдается изменение содержания в их мозге фосфолипидов и убихинона [12]. Фтор, по-видимому, взаимодействует с ионом магния и гуаниновыми нуклеотидами, связанными с регуляторным белком [2]. Некоторые авторы полагают, что повышение активности фермента отражает какие-то вторичные проявления токсического действия фтора. Существует мнение, что фтор способен проникать с кровью плода в его мозг и накапливаться в мозговой ткани еще до рождения ребенка,

что в конечном итоге проявляется в снижении развития умственных способностей детей. Поскольку основные районы распространения йодного дефицита в основном совпадают с территориями эндемического флюороза, то некоторые авторы полагают, что на фоне дефицита йода избыток фтора обуславливает повышенный риск развития кретинизма.

Особую роль в биомеханизме действия фтора на снижение умственных способностей детей, очевидно, играет известный его синергизм с алюминием. Так, установлено, что возможность фтора проникать в мозг обусловлена его повышенной способностью формировать липидорастворимые комплексы с алюминием [18–20]. Даже в очень низких дозах совместное действие алюминия и фтора является причиной образования алюмофторовых комплексов (фторидов алюминия, AlF_x), способных негативно влиять на G-белки клеток. Как известно, G-белки представляют собой семейство регуляторных трансмембранных гуанин-нуклеотидсвязывающих белков, участвующих в передаче внеклеточных регуляторных сигналов гормонов, факторов роста, нейромедиаторов к системе внутриклеточных вторичных мессенджеров (80% первичных мессенджеров – гормоны, нейротрансмиттеры, нейромодуляторы – взаимодействуют со специфическими рецепторами, которые связаны с эффекторами через G-белки). Показано, что фторидов алюминия способны стимулировать связывание гуаниновых нуклеотидов с G-белками, вызывать фармакологическое и токсикологическое влияние на животные и человеческие клетки, ткани и органы [19]. Эксперименты с лабораторными животными свидетельствуют о том, что фтор и алюмофторовые комплексы могут вызывать повреждения гомеостаза, роста, развития, познавательной способности, поведения [18]. Предполагается также, что фториды алюминия (AlF_x) играют определенную роль в этиологии болезни Альцгеймера [20].

Гиперфторовые биогеохимические провинции (и соответственно очаги эндемического флюороза) известны во многих районах мира, включая Россию, где районы с повышенным содержанием фтора в питьевых водах встречаются в Мурманской, Тверской, Рязанской, Кировской, Свердловской, Челябинской, Иркутской областях, в Мордовии и других регионах. Кроме того, в условиях техногенного загрязнения окружающей среды фтором создается опасность повышенного поступления его в организм человека [1, 3, 4]. Это, в сущности, и определяет необходимость проведения в таких регионах соответствующих исследований, а также практических мероприятий, направленных на снижение возможного негативного влияния водного фтора на здоровье и умственное развитие детей.

Литература

1. *Авцын А.П., Жаворонков А.А.* Патология флюороза. – Новосибирск: Наука, 1981. – 335 с.
2. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С.* Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. – М: Медицина, 1991. – 496 с.
3. *Янин Е.П.* Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза, 2007, № 4, с. 2–98.
4. *Янин Е.П.* Биогеохимическая роль и эколого-гигиеническое значение фтора // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2009, № 4, с. 20–108.
5. *Bigay J., Deterre P., Pfister C., Chabre M.* Fluoride complexes of aluminium or beryllium act on G-proteins as reversibly bound analogues of the gamma phosphate of GTP // EMBO J., 1987, v. 6, p. 2907–2913.

6. *Blaylock R.L.* Excitotoxicity: A possible central mechanism in fluoride neurotoxicity // *Fluoride*, 2004, v. 37, p. 301–14.
7. *Blaylock R.L.* Fluoride neurotoxicity and excitotoxicity/microglial activation: Critical need for more research // *Fluoride*, 2007, v. 40, p. 89–92.
8. *Burgstahler A.W.* Influence of fluoride and lead on children's IQ: U.S. tolerance standards in question // *Fluoride*, 2003, v. 36, № 2, p. 79–81.
9. *Carton R.J.* Review of the 2006 United States National Research Council report: Fluoride in drinking water // *Fluoride*, 2006, 39, № 3, p. 163–172.
10. *Connett M., Limeback H.* Fluoride and its effects on human intelligence. A systematic review // IARD 83rd General Session and Exhibition, July 4, 2008 // http://iadr.confex.com/iadr/2008Toronto/techprogram/abstract_105335.htm.
11. *Ge Y.M., Ning H.M., Feng C.P. et al.* Apoptosis in brain cells of offspring rats exposed to high fluoride and low iodine // *Fluoride*, 2006, v. 39, p. 173–178.
12. *Guan Z.Z., Wang Y.N., Xiao K.Q. et al.* Influence of chronic fluorosis on membrane lipids in rat brain // *Neurotoxicol. Teratol.*, 1999, v. 20, p. 537–42.
13. *Li X.S., Zhi J.L., Gao R.O.* Effects of fluoride exposure on intelligence in children // *Fluoride*, 1995, v. 28, p. 189–192.
14. *Lu Y., Sun Z.R., Wu L.N. et al.* Effect of high-fluoride water on intelligence in children // *Fluoride*, 2000, 33, № 2, p. 74–78.
15. *Mclure F.J.* A review of fluorine and its physiological effects // *Physiol. Rev.*, 1933, v. 13, p. 277–300.
16. *Smith M.C., Lantz E.N., Smith H.V.* The cause of mottled enamel // *Science*, 1931, v. 74, p. 244–246.
17. *Spittle B.* Fluoride and intelligence // *Fluoride*, 2000, v. 33, № 2, p. 49–52.
18. *Strunecká A., Patočka J., Blaylock R.L., Chinoy N.J.* Fluoride interactions: from molecules to disease // *Current Signal Transduction Therapy*, 2007, 2, p. 190–213.
19. *Strunecká A., Patočka J.* Pharmacological and toxicological effects of aluminofluoride complexes // *Fluoride*, 1999, v. 32, p. 230–242.
20. *Strunecká A., Strunecký O., Patočka J.* Fluoride Plus Aluminum: Useful Tools in Laboratory Investigations, but Messengers of False Information // *Physiol. Res.*, 2002, v. 51, p. 557–564.
21. *Trivedi M.H., Verma R.J., Chinoy N.J. et al.* Effect of high fluoride water on intelligence of school children in India // *Fluoride*, 2007, v. 40, № 3, p. 178–183.
22. *Vani L.M., Reddy K.P.* Effects of fluoride accumulation on some enzymes of brain and gastrocnemius muscle of mice // *Fluoride*, 2000, v. 33, p. 17–26.
23. *Wang S.X., Wang Z.H., Cheng X.T. et al.* Arsenic and fluoride exposure in drinking water: children's IQ and growth in Shanyin County, Shanxi Province, China // *Environ. Health Perspect.*, 2007, 115, № 4, p. 643–647.
24. *Xiang Q.Y., Liang Y.X.* Blood lead of children in Wamiao-Xinhuai intelligence study // *Fluoride*, 2003, v. 36, p. 198–199.
25. *Xiang Q., Liang Y., Chen L. et al.* Effect of fluoride in drinking water on children's intelligence // *Fluoride*, 2003, 36, № 2, p. 84–94.
26. *Zhao L.B., Liang G.H., Zhang D.W., Wu X.R.* Effect of high fluoride water supply on children's intelligence // *Fluoride*, 1996, 29, № 4, p. 190–192.