ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ КАК ФАКТОР ВОЗМОЖНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА (НА ПРИМЕРЕ УРОВСКОЙ (КАШИНА-БЕКА) БОЛЕЗНИ, ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

Замана Л.В.¹, Рихванов Л.П.², Барановская Н.В.², Соктоев Б.Р.², Михайлова Л.А.³

¹ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, e-mail: l.v.zamana@mail.ru

²ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия, e-mail: rikhvanov@tpu.ru, nata@tpu.ru, bulatsoktoev@tpu.ru

³ФГБОУ ВО Читинская государственная медицинская академия, г. Чита, Россия, e-mail: mihailova-la@mail.ru

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены существующие биогеохимические гипотезы причин болезни Кашина-Бека в Юго-Восточном Забайкалье, где впервые в середине XIX в. она была выявлена. Проанализировано распределение в природных водах химических компонентов, которыми разные авторы объясняли данную эндемию (Ca, Sr, P). Ввиду разных взглядов на вызывающие болезнь геохимические факторы сделан вывод о необходимости проведения дальнейших исследований.

1. ВВЕДЕНИЕ

В России в водах хозяйственно-питьевого назначения по СанПиН 2.1.4.10749-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды» нормируется свыше 30 неорганических химических показателей в основном природного происхождения, превышение концентраций которых вызывает различные заболевания вплоть до онкологических. Широко известными примерами таких болезней являются флюороз, обусловленный высоким содержанием F в питьевых водах, арсеникоз, распространенный в аномальных по As районах, особенно в странах Юго-Восточной Азии, и др. В зарубежных странах (Австрия, Дания, Япония, США и др.) с содержанием Li в воде связывают уровень самоубийства [11]. В странах Балканского полуострова заболевание почек, известное как «балканская нефропатия» (BEN), связывают с качеством подземных вод. В целом, болезнь почек сложной этиологии (CKDu) – это достаточно широко распространённое заболевание, в ряде стран связываемое с качеством питьевых вод [10].

Наряду с этим существуют болезни, вызванные недостатком определенных химических элементов в водах и компонентах ландшафта. В их числе кариес, эндемический зоб, болезнь Кешана и др.

Особое место в ряду эндемических, приуроченных к определенным территориям заболеваний принадлежит уровской (Кашина-Бека) болезни, первое сообщение о которой в опубликованных работах появилось в 1849 г. с указанием на распространение её в бассейне р. Уров (приток р. Аргунь) в Юго-Восточном Забайкалье (рисунок). Позже заболевание было выявлено в Северной Корее, во многих районах Китая и, предположительно, в отдельных областях

Африки. Название «болезнь Кашина-Бека» закрепилось по фамилиям первыми изучавших ее врачей Н.И. Кашина и Е.В. Бека и в англоязычной литературе получило аббревиатуру KBD (Kashin-Beck disease).

Рис. Схематическая карта пространственного распространения болезни Кашина-Бека в Юго-Восточном Забайкалье. Построена по данным [4]. Уровни заболеваемости (%): 1 – 40-50; 2 – 50-60; 3 – 60-70; 4 – >80.

Болезнь проявляется в виде деформирующего хондроостеоартроза, поражающего опорно-двигательный аппарат и весь организм человека, в крайних формах внешне выражена низкорослостью, короткопалостью рук («медвежья лапа»), деформацией скелета и, в конечном счёте, приводит к потере трудоспособности.

Несмотря на длительный период изучения, природа этой эндемии до сих пор остается дискуссионной. Высказано свыше 20 гипотез ее происхождения, среди которых доминируют микробиологические и биогеохимические.

Более широкое признание получило биогеохимическое объяснение этиологии заболевания, впервые предложенное А.П. Виноградовым [2] на основе выполненных в 1930-е годы исследований в Юго-Восточном Забайкалье. Согласно биогеохимической гипотезе, болезнь вызвана недостатком или избытком определенных химических элементов в среде обитания. Сам автор связывал заболевание с дефицитом Са и избытком Р, при этом обращал внимание на повышенное содержание Sr в водах эндемичных мест. В.В. Ковальский предложил Са-Sr гипотезу, по которой болезнь развивается при недостатке Са и избытке Sr [9]. К концу 1980-х годов появилось объяснение эндемии Р-Mn интоксикацией [1, 3]. Во всех случаях определяющая роль в развитии болезни отводилась воде.

Существуют также взгляды о полифакторной природе болезни Кашина-Бека. В Китае доминирует объяснение её дефицитом и слабой биодоступностью Se. Краткий обзор представлений по этиологии уровской эндемии с литературными ссылками содержится в статье [8].

Обращение к проблеме уровской болезни в Забайкалье после 25-летнего перерыва в её изучении приобретает актуальность в связи с начавшимся новым горнопромышленным освоением территории – пуском крупного Быстринского ГОКа, вводом в эксплуатацию ряда месторождений золота и других металлов, расположенных непосредственно в очагах эндемии. Цель данного сообщения – изложить имеющиеся сведения по гидрогеохимии этой территории и обратить внимание на необходимость продолжения исследований с использованием современных методов анализа как воды, так и горных пород, почв и растительности. Применение современных аналитических методов, в особенности масс-спектрометрии (ICP-MS), существенно расширяет круг определяемых химических элементов и открывает новые возможности для выяснения геохимической специфики территории и определения возможных факторов болезни.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В связи с предложенной новой Р-Mn гипотезой уровской болезни [1, 3] в 1986-1991 гг. были проведены целенаправленные гидрогеохи-

мические исследования поверхностных и подземных вод в бассейнах р. Уров и ряда левобережных притоков р. Аргунь (Нижняя и Средняя Борзя, Большой Зерентуй, Серебрянка и др.) [6, 7, 12]. Пункты опробования включали и места расположения бывших сел с высоким уровнем заболевания (Галузино, Годымбой, Лежанкино, Патрино, Хомяки и др.), жители которых были переселены в 1930-е гг., а также мало затронутые болезнью («здоровые» по [2]) пункты (Георгиевка, Уровские Ключи, Широкая и др.).

Химические анализы воды выполнялись по стандартным или специально разработанным ранее апробированным методикам. Основные катионы и металлы определяли методами атомной абсорбции или эмиссионной спектроскопии. На диссоциаты угольной кислоты и перманганатную окисляемость (ПО) пробы анализировались титриметрическим методом, на pH, F, Cl – потенциометрическим с ионоселективными электродами, на Si, P – колориметрическим методом [7]. На Se по техническим возможностям воды не исследовались. Углекислотные компоненты, pH, Cl⁻, F⁻, Si, P и ПО определяли в полевой лаборатории, как правило, на следующий день после отбора проб.

Исследованная территория относится к горно-таежной и лесостепной зонам и характеризуется наличием многолетней мерзлоты, приуроченной к отрицательным формам рельефа и пологим заболоченным склонам водоразделов. Мощность растёт в северном направлении – от 20-30 до 80-100 м. Мерзлота считалась одним из критериев неблагоприятия территории по уровской эндемии, что объяснялось накоплением соединений Р и Mn в почвах и водах из-за затрудненного оттока почвенных коллоидов [1].

Геологическая основа представлена разновозрастными стратифицированными осадочными, вулканогенными и метаморфическими образованиями. Метаморфические породы (PR₁) распространены ограниченно в пределах гранито-гнейсовых куполов в осевых частях водоразделов. Значительные площади занимают венд-кембрийские осадочные отложения, в основном терригенного состава с преобладанием алевролитов и песчаников и незначительным развитием карбонатных пород в низах и верхах разреза и доминированием доломитов и известняков в его средней части. Вулканогенные породы господствуют в составе мезозойских образований, выполняющих позднемезозойские впадины, на которые приходится около трети территории района. Состав их несколько изме-

няется по стратиграфическим подразделениям, но в основном представлен контрастными андезит-базальтовыми и липаритовыми толщами.

Интрузивные породы имеют подчиненное развитие, в их составе преобладают раннепротерозойские и каменноугольные гранитоиды, формирующие крупные гранитные массивы в пределах разделяющих впадины поднятий.

Горные породы практически всех стратифицированных и интрузивных образований характеризуются повышенными концентрациями В и Р. Наиболее высоким коэффициентом концентрации Р (16.7 кларка) по данным производственных геохимических съемок отличаются базальты годымбойской свиты (J_{2-3gd}). По левобережью р. Уров в песчаниках и алевrolитах ундино-даинской серии (J_{3und}) содержания Р достигают 10.3 кларка. Повышен кларк его и в породах других мезозойских подразделений (до 5.9), а также в нижнепротерозойских сланцах и палеозойских карбонатных породах (в 5-8 раз), в гранитах раннего протерозоя (до 4.0 кларка).

Из металлов чаще других повышенные концентрации в горных породах имеет Рb, наиболее высокий фон его в эффузивах годымбойской свиты (до 5.7 кларка).

3. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОД РАЙОНА УРОВСКОЙ ЭНДЕМИИ

Подземные и поверхностные воды территории пресные, по составу, за редким исключением, гидрокарбонатные двух- или трехкомпонентные по катионам, в большинстве с преобладанием Са. Заметно различаются химические характеристики вод в зависимости от приуроченности к геологическим комплексам и ландшафтным зонам. С аридизацией климатических условий не только растут значения рН и общей минерализации воды, но и меняется термодинамическое равновесие с вторичными минералами. Равновесие с каолинитом, реже гиббситом в горно-таежной зоне сменяется ассоциацией каолинит-монтмориллонит в лесостепных ландшафтах, воды часто становятся насыщенными по кальциту.

По геологическим подразделениям наиболее контрастны гидрогеохимические показатели карбонатных пород быстринской (ϵ_{1bs}) и вулканогенных пород гадаринской и годымбойской свит. Средняя минерализация приуроченных к ним вод соответственно 570, 208 и 248 мг/л, содержания Са – 73.0, 27.5 и 28.2, Sr – 0.37, 0.22 и 0.21, Р общего – 0.047, 0.134 и 0.118 мг/л [7]. Как видно, содержание Са в водах кар-

бонатных пород более чем в 2.5 раза выше, чем эффузивов. Эти данные соответствуют объяснению А.П. Виноградова причины отсутствия заболеваний в селах, расположенных на участках распространения карбонатных пород, несмотря на несколько более высокое там же, по его данным, содержание в водах Sr.

Противоположные результаты по водам приведены в статье В.В. Ермакова с соавторами по выполненным в последние годы исследованиям [5]. Содержание Са в водах эндемических районов, по их данным, даже выше, чем в неподверженных заболеванию населенных пунктах (средние концентрации 35,9 и 32,9 мг/л при максимальных 156,8 и 108,2 мг/л соответственно). При этом концентрации Sr в водах эндемических районов существенно выше – до 2.98 мг/л при максимуме в незатронутых болезнью контрольных районах 0.53 мг/л. Соотношение Са/Sr, которое в ряде работ рассматривается как критерий неблагополучия территории в отношении уровской болезни при значении менее 100, в среднем равны 285 и 543. Более низкие эти коэффициенты по почвам – 2.98 и 11-256 соответственно. В итоге повышенное содержание Sr в почвах и растениях рассматривается авторами статьи как фактор экологического риска. Данные по содержанию Р в водах в этой работе отсутствуют.

Обобщенные данные по химическому составу природных вод территории распространения эндемии (таблица) по Са и Sr, как показано выше по отдельным водоносным комплексам, сходятся с выводами А.П. Виноградова. По Р они в целом подтверждают результаты авторов Р-Мп гипотезы. Разница в том, что аномалии Р связаны не только с болотными ландшафтами, но и с родниковыми водами из коренных вулканогенных пород. Так, максимальное содержание Р (3.46 мг/л) получено по роднику, дренирующему воды базальтов годымбойской свиты на суходольном участке без мерзлоты. Соотношение Са/Р в очагах эндемии в большинстве случаев меньше 300.

В гидрогеохимическом плане даже вне связи с эндемией заслуживают изучения аномалии Р. К ним в результате обработки определений более чем по 500 водным пробам по Восточному Забайкалью отнесены содержания общего Р более 0.1 мг/л. Кроме общего определялся также Р органический. Оказалось, что на последний в пробах с фоновым содержанием приходится около половины, тогда как в аномалиях преобладает Р минеральный. Расчет равновесий по

пробам с высоким его содержанием показал насыщение по апатитам. Отсюда возникает вопрос о минеральной форме нахождения фосфора в горных породах, которая представлена обычно апатитами. Возможно, пересыщение в водах происходит в результате образования полифосфатной формы, наличие которой единичными определениями было выявлено. Результат этот требует проверки.

Таблица. Среднее содержание макро- и микрокомпонентов в природных водах Уровского биогеохимического района (по [7]). От CO₂ до Sr – мг/л, Zn–Mo – мкг/л

Показатель	Выборки		
	общая	по эффузивно-осадочным породам	
		общая	при P>0.1 мг/л
<i>n</i>	286	133	31
pH	7.40	7.29	7.38
CO ₂	7.4	7.1	9.4
HCO ₃ ⁻	208.0	163.0	154.9
CO ₃ ²⁻	2.4	2.2	10.4
SO ₄ ²⁻	15.7	7.3	22.5
Cl ⁻	3.5	3.4	6.5
F ⁻	0.41	0.38	0.41
Ca ²⁺	38.0	31.7	29.6
Mg ²⁺	23.0	15.4	11.6
Na ⁺	11.9	16.5	17.4
K ⁺	1.4	1.6	2.7
Сумма	304	240	240
Si	6.0	9.2	12.0
ПО	11.0	12.0	13.6
Pоб.	0.084	0.124	0.261
Pорг.	0.046	0.060	0.107
Sr	0.31	0.25	0.21
Zn	21.3	16.6	23.3
Cu	6.8	8.0	12.9
Pb	4.2	5.3	7.4
Ni	1.9	1.9	2.1
Co	0.5	0.4	0.4
Mo	1.0	0.9	1.8
Ca/Sr	282	265	145
Ca/P	1297	801	238

По марганцу получены фоновые концентрации, аномалий не обнаружено. Из других гидрогеохимических показателей более высокими концентрациями в аномальных по P водах выделяется Si. Такое положение объяснено различным составом возможных вторичных минералов [7]. По тяжелым металлам аномальная выборка характеризуется превышением средних по изученному району концентраций по

Cu, Mo и Pb. По Pb выделяется участок по левобережью р. Уров в поле развития базальтов годымбойской свиты, где содержание Pb в воде достигало 27 мкг/л при ПДК для питьевых вод 30 мкг/л. Повышенные концентрации установлены также в костях уровских больных.

В сентябре 2017 г. было отобрано несколько водных проб в с. Тайна, где по данным на 1980-е годы заболеванием было поражено до 38% жителей, и на относительно благополучной территории (с. Уровские ключи) [8]. Установлено низкое содержание Са в водах, используемых для питьевого водоснабжения в очаге эндемии, что может являться индикатором неблагополучия территории по этому заболеванию и без отягчающего влияния других элементов.

По одной из отобранных в с. Тайна проб получен чисто натриевый состав воды, для данной территории исключительный. По рассчитанному содержанию HCO₃⁻ эта вода относится к сульфатно-содовому типу, что требует проверки прямыми химическими определениями, как и полученных данных по P. Содержание его по всем пробам оказалось ниже предела обнаружения (0.07 мг/л). При этом необходимо отметить, что использованный масс-спектрометрический метод анализа по сравнению с нормативным спектрофотометрическим (ПНД Ф 14.1:2.106-97), как показывают данные параллельных определений по другим объектам, дает заниженные значения, особенно при аномальных (более 0.1 мг/л) концентрациях фосфора. Не удалось получить количественных данных и по концентрации в водах Se, она оказалась ниже предела обнаружения (0.005 мг/л).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, индикаторы биогеохимической природы уровской Кашина-Бека болезни остаются дискуссионными. Необходимость надежного их выявления является научной и настоятельно необходимой ввиду горнопромышленного освоения территории прикладной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексенцева Н.Н. Эколого-геохимические особенности территории Юго-Восточного Забайкалья, эндемичной по болезни Кашина-Бека: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Минск, 1987. – 20 с.
2. Виноградов А.П. О причинах происхождения уровской эндемии (геохимические исследования) // Труды Биогеохимической лаборатории. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – Т. 9. – С. 5-29.

3. Вощенко А.В., Чугаев В.Н., Вайстух С.И., Бутко В.С. К этиологии уровской (Кашина-Бека) болезни // Педиатрия: вопросы диагностики и лечения: тез. докл. научно-практической конференции. – Чита, 1988. – С. 20-23.

4. Демперов Н.А. Карта распространения уровской болезни // Уровская болезнь в Забайкалье. – Иркутск, 1934. – С. 15-23.

5. Ермаков В.В., Гуляева У.А., Тютиков С.Ф., Кузьмина Т.Г., Сафонов В.А. Биогеохимия кальция и стронция в ландшафтах Восточного Забайкалья // Геохимия. 2017. № 12. – С. 1115-1127.

6. Замана Л.В., Гладкая Н.М. Новые данные по геохимии природных вод района уровской эндемии в Сибири // Докл. АН. 1991. – Т. 321. № 3. – С. 593-595.

7. Замана Л.В., Гладкая Н.М. Геохимические особенности природных вод Уровского биогеохимического района // Геохимия. 1993. № 2. – с С. 269-280.

8. Замана Л.В., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Соктоев Б.Р., Эпова Е.С., Солодухина М.А., Михайлова Л.А., Копылова Ю.Г., Хвощевская А.А. Новые данные об элементном составе природных вод в районе распространения уровской (Кашина-Бека) болезни (Забайкальский край) // Известия Томского политехнического ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2018. (в печати).

9. Ковальский В.В. Новые направления и задачи биологической химии сельскохозяйственных животных в связи с изучением биогеохимических провинций // Материалы Юбилейной сессии, посвященной 40-й годовщине Великой Октябрьской социалистической революции (ВАСХНИЛ). – М.: Изд-во Минсельхоза СССР, 1958. – С. 579-619.

10. Wasana H.M.S., Aluthpatabendi D., Kularatne W.M.T.D., Wijekoon P., Weerasooriya R., Bandara J. Drinking water quality and chronic kidney disease of unknown etiology (CKDu): synergic effects of fluoride, cadmium and hardness of water // Environmental Geochemistry and Health. 2016. Vol. 38. P. 157-168.

11. Knudsen N.N., Schullehner J., Hansen B., Jørgensen L.F., Kristiansen S.M., Voutchkova D.D., Gerds T.A., Andersen P.K., Bihrmann K., Grønbæk M., Kessing L.V., Ersbøll A.K. Lithium in Drinking Water and Incidence of Suicide: A Nationwide Individual-Level Cohort Study with 22 Years of Follow-Up // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017. Vol. 14(6). Article 627.

12. Zamana L.V. Possible hydrogeochemical preconditions for Kashin-Beck disease in Transbaikalia // Chinese Geographical Science. 1995. – Vol. 5. – P. 185-192.

NATURAL WATERS AS A FACTOR OF POSSIBLE IMPACT ON HUMAN HEALTH (ON THE EXAMPLE OF THE UROV (KASHIN-BEK) DISEASE, ZABAYKAL'SKIY KRAY)

Zamana L.V.¹, Rikhvanov L.P.², Baranovskaya N.V.², Soktoev B.R.²

¹*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: l.v.zamana@mail.ru.*

²*National Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, E-mail: rikhvanov@tpu.ru.*

ABSTRACT: Existing biogeochemical hypotheses of the causes of Kashin-Bek's disease in the South-Eastern Transbaikalia, where for the first time in the middle of the 19th century, it was revealed. The distribution in the natural waters of chemical components which different authors explained this endemic (Ca, Sr, P) was analyzed. Due to different views on the geochemical factors causing the disease, a conclusion is made about the need for new studies.