

УДК 556.06:551.482.212

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЖДУРЕЧЬЯ РЕК ГАМ И КАУ (СЕВЕРНЫЙ ВЬЕТНАМ)

Савичев Олег Геннадьевич,

д-р географ. наук, профессор кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: OSavichev@mail.ru

Нгуен Ван Луен,

аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Томского политехнического университета, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: Luyennv@yahoo.com

Актуальность работы. Исследования эколого-геохимического состояния водных объектов имеют как важное прикладное, так и фундаментальное научное значение, поскольку важнейшими задачами подобных исследований являются определение геохимического фона и отклонений от него, а также выявление природных и антропогенных факторов формирования как фоновых, так и аномальных концентраций. Особенно актуальны подобные исследования в Юго-Восточной Азии, включая северную часть Вьетнама, где в условиях высокой плотности населения важность обеспечения экономики водой необходимого качества и сохранения окружающей среды многократно возрастает.

Цель работы: оценка современного эколого-геохимического состояния поверхностных вод в уезде Чодонь провинции Баккан (СРВ) и его связи с гидрологическими и геоморфологическими условиями.

Методы исследования: ландшафтно-геохимический, географо-гидрологический и статистические методы.

Результаты и выводы. Получены данные об эколого-геохимическом состоянии поверхностных вод в междуречье рек Гам и Кау (Северный Вьетнам, Провинция Баккан, уезд Чодонь). Эти воды в меженный период характеризуются как пресные с низким содержанием органических веществ и относительно повышенным содержанием ряда металлов (Zn, Pb, Fe, Al). Они повсеместно способны растворять первичные алюмосиликаты с образованием глинистых минералов и пересыщены относительно кварца. Пересыщение относительно карбонатных минералов характерно для водосбора реки Бан Тхи и верховий реки Дай. Установлено, что в водосборе реки Бан Тхи и в верховьях реки Дай речная сеть приурочена к тектоническим нарушениям, что способствует увеличению выноса Zn и Pb. Дополнительным фактором увеличения концентраций Zn и Pb является увеличение доли площади водосбора в верховьях рек без выраженной речной сети F/F_0 . На основе полученных в феврале 2015 г. данных предположено, что характеристики сопряженности тектонических нарушений и речной сети и величины F/F_0 являются критериями эффективных поисков рудопроявлений в регионе. Повышенные концентрации Zn, Pb, Fe, Al объясняются преимущественно влиянием природных факторов, что, безусловно, не исключает возможности загрязнения поверхностных вод в результате текущей и ранее осуществлявшейся хозяйственной деятельности.

Ключевые слова:

Северный Вьетнам, речные воды, гидроморфологические и геологические факторы.

Введение

Исследования эколого-геохимического состояния поверхностных и подземных вод имеют как важное прикладное, так и фундаментальное научное значение, поскольку важнейшими задачами подобных исследований являются определение геохимического фона и отклонений от него, а также выявление природных и антропогенных факторов формирования как фоновых, так и аномальных концентраций. Решение этих задач применительно к любому региону мира позволяет разработать долгосрочный прогноз изменения состояния экосистем речных водосборов, оптимизировать структуру природопользования и повысить эффективность природоохранных мероприятий и поисков полезных ископаемых. Соответствующие исследования особенно актуальны в Юго-Восточной Азии, где в условиях высокой плотности населения важность обеспечения экономики водой

необходимого качества и сохранения окружающей среды многократно возрастают.

С учётом этого авторами в 2015 г. начаты исследования эколого-геохимического состояния поверхностных и подземных вод на севере Социалистической республики Вьетнам (СРВ), на территории, административно соответствующей уезду Чодонь провинции Баккан, а географически – водосборам рек Красная и Тхайбинь, а именно – междуречью крупных притоков – рек Гам и Кау (рис. 1). На этой территории распространены рудопроявления Pb, Zn, Fe, Mn. Ранее разрабатывался ряд малых месторождений свинцово-цинковых руд, что привело к определённому ухудшению качества вод в ряде населённых пунктов и определило цель рассматриваемого этапа исследований – оценку современного эколого-геохимического состояния поверхностных вод в уезде Чодонь провинции Баккан (СРВ) и его связи с гидрологическими и геоморфологическими условиями.

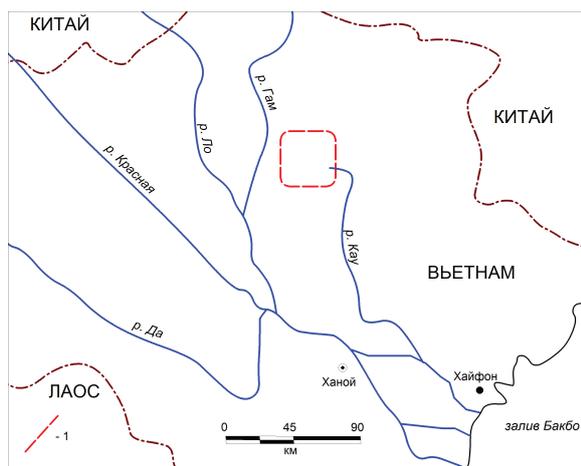


Рис. 1. Схема расположения района исследований (1) в междуречье рек Гам и Кау (притоки реки Красной)

Fig. 1. Research area (1) between the Gam and Kau rivers (tributaries of the Red river)

Объект и методика исследования

Район исследований схематично показан на рис. 1, а расположение пунктов опробования – на рис. 2. В качестве основных объектов исследования выбраны: р. Кау (участок верхнего течения) – крупный приток системы реки Красной; р. Дай (приток реки Красной) и её приток Фо Дай; р. Та Диенг, впадающая в озеро Ба Бё; р. Бан Тхи (приток реки Гам) и её приток – река Ченгу.

Методика исследований включала в себя: 1) полевые работы по отбору проб речных вод; 2) лабораторные работы по определению химического состава проб воды; 3) расчёты насыщенности вод относительно ряда минералов и органоминеральных соединений, которые присутствуют или могут присутствовать в подстилающих отложениях; 4) расчёты гидрологических и гидроморфологических характеристик и статистический анализ взаимосвязей между ними и гидрохимическими показателями.

Отбор 10 проб речных вод (одновременно с измерением температуры воды, её удельной электропроводности УЭП и рН) проводился 14–16 февраля 2015 г. Нгуен Ван Луеном из слоя 0,3–0,5 м от поверхности в специально подготовленные ёмкости с учётом [1]. Лабораторные работы выполнялись в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета (номер государственной аккредитации № РОСС RU. 0001.511901 от 12.07.2011 г.). В водных пробах проводилось определение: кондуктометрическим методом – значений удельной электропроводности (УЭП, здесь и далее в скобках – чувствительность 5 мкС/см); потенциометрическим – рН (0,1 ед.); титриметрическим – Ca^{2+} (1 мг/дм³), Mg^{2+} (0,04 мг/дм³), HCO_3^- (3 мг/дм³), CO_3^{2-} (3 мг/дм³), CO_2 (4 мг/дм³), Cl^- (0,5 мг/дм³), перманганатной окисляемости ПО (0,25 мгО/дм³); турбидиметрическим – SO_4^{2-} (2 мг/дм³); фотоме-

трическим – Si (0,5 мг/дм³), NH_4^+ (0,05 мг/дм³), NO_2^- (0,01 мг/дм³), NO_3^- (0,1 мг/дм³), PO_4^{3-} (0,01 мг/дм³), Fe (0,1 мг/дм³); инверсионно-вольтамперометрическим – Zn (0,5 мкг/дм³), Cd (0,2 мкг/дм³), Pb (0,2 мкг/дм³), Cu (0,6 мкг/дм³); атомно-абсорбционным – Al (20 мкг/дм³), ионной хроматографией – Na^+ (0,1 мг/дм³), K^+ (0,05 мг/дм³).

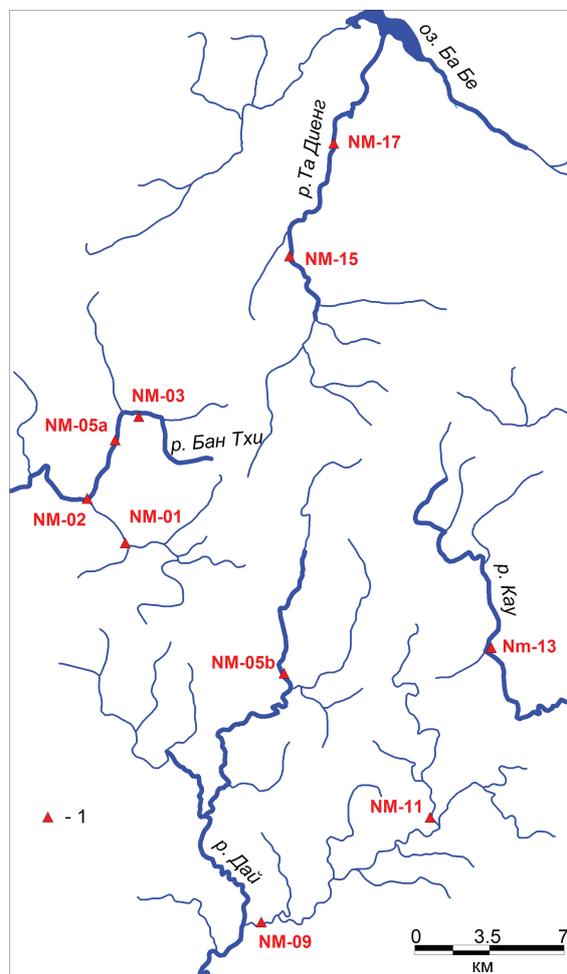


Рис. 2. Схема расположения пунктов отбора проб поверхностных вод уезде Чодонь провинции Баккан в феврале 2015 г.

Fig. 2. Sampling points in Cho Don district of Bac Can province in February 2015

Расчёт индекса насыщенности η проводился на основе методов химической термодинамики с помощью программного комплекса Solution+ [2]:

$$\eta = \lg \text{ПА} - \lg K_{\text{неq}}, \quad (1)$$

где ПА – произведение активностей группы веществ; $K_{\text{неq}}$ – константа неустойчивости. Отрицательные значения индекса η указывают на недосыщение, а положительные – на пересыщение раствора относительно минералов, взаимодействие с которыми рассматривается [3]. Концентрации фульво- (ФК) и гуминовых (ГК) кислот были определены по эмпирическим зависимостям, установленным для бассейна реки Обь (ФК=0,484ПО,

$R^2=0,63$; $ГК=0,176ФК$, $R^2=0,44$; R^2 – квадрат корреляционного отношения; с учётом [4, 5] зависимость считается удовлетворительной, если $R^2>0,36$).

Гидрографические характеристики рек и их водосборов (длина водотока L , площадь водосбора F , средний уклон водотока J , густота речной сети $P(r)$) определены согласно [6] по цифровой карте (в формате геoinформационной системы MapInfo) масштаба 1: 50 000. Кроме того, по цифровой геологической карте масштаба 1: 200 000 выполнен расчёт протяжённости тектонических нарушений и участков совпадений речных долин и тектонических нарушений. Максимальный водный сток дождевого паводка Q_{max} обеспеченностью p рассчитывался с использованием так называемого «рационального» метода или метода «предельной интенсивности» [7–9]:

$$Q_{max,p} = 16,7 I_{rf,p} \theta_{rf,p} k_{rf,0,1} k_{rf,0,2} k_{rf,0,3} F, \quad (2)$$

где $I_{rf,p}$ – расчетная интенсивность осадков, соответствующая заданной обеспеченности для расхода воды, мм/мин; $\theta_{rf,p}$ – коэффициент склонового стока; $k_{rf,0,1}$ – коэффициент редукции максимального дождевого стока, определяемый в зависимости от площади водосборного бассейна F ; $k_{rf,0,2}$ – коэффициент учета влияния уклона главного русла J ; $k_{rf,0,3}$ – коэффициент, учитывающий форму водосборного бассейна. В качестве расчётной обеспеченности приняты 1 и 10 % (по опыту работ в умеренном поясе Северной Азии: 1 % – обеспеченность очень высокого расхода воды, при котором происходит затопление основной части поймы; 10 % – обеспеченность расхода воды, близкого по значению к «руслоформирующему» расходу воды). Дополнительно выполнен расчёт гидроморфологического показателя K_r , характеризующего влияние уклона реки J , ширины водосбора B_F и средней шероховатости его поверхности n_F на водный сток:

$$Q = \frac{B_F \sqrt{J}}{n_F} y^{\frac{5}{3}} = K_r y^{\frac{5}{3}}, \quad (3)$$

где y – слой водоотдачи водосбора [10].

Статистический анализ включал в себя проверку рядов на однородность согласно [6] по критериям Стьюдента, Уилкоксона (по среднему) и Фишера (по дисперсии) и корреляционный анализ. Статистически значимыми (с уровнем значимости 5 %) принимались коэффициенты корреляции r при условии:

$$|r| > 2 \frac{1-r^2}{\sqrt{N-1}}, \quad (4)$$

где N – объём выборки. В расчётах используется сумма главных ионов $\sum_{mi} (Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-)$.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ материалов, полученных в феврале 2015 г. и соответствующих межленному периоду,

показал, что, *во-первых*, все изученные водные объекты относятся к категории «малых» рек с расходами воды до 41 м³/с (табл. 1). *Во-вторых*, изученные поверхностные воды по классификациям О.А. Алёкина [11] в целом пресные с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые первого, второго и третьего типов (табл. 2). По величине рН воды нейтральные и слабощелочные, по жёсткости – от очень мягких до умеренно жёстких, по величине перманганатной окисляемости – с очень малой окисляемостью, по содержанию органических и биогенных веществ – бета-мезосапробного класса [12, 13]. Превышение российских нормативов качества воды в объектах хозяйственно-питьевого назначения наблюдается также по содержанию веществ 1–2 класса опасности в 8 пробах из 10. Нарушение российских рыбохозяйственных нормативов в большинстве случаев отмечается по содержанию Cu, Pb, Al, Zn, Fe. Превышения вьетнамских нормативов качества вод [14] не отмечены, но, с учётом повышенных концентраций ряда токсичных микроэлементов, а также результатов сравнения с российскими нормативами, общее состояние изученных речных вод в феврале 2015 г. оценивается как неудовлетворительное с точки зрения обеспечения хозяйственно-питьевых нужд.

Поверхностные воды повсеместно способны растворять первичные алюмосиликаты с образованием глинистых минералов и пересыщены относительно кварца, что характерно для гидрогеохимических условий тропических областей [15, 16]. Пересыщение относительно карбонатных минералов характерно для водосбора реки Бан Тхи и верховий реки Дай. Кроме того, несмотря на низкое содержание органических веществ, вероятно пересыщение поверхностных вод относительно соединений металлов и гуминовых кислот (табл. 3). Таким образом, можно предположить, что рост концентраций ряда тяжёлых металлов в поверхностных водах района исследований ограничен малой растворимостью их соединений с карбонатами и гуминовыми кислотами.

Корреляционные связи между гидрохимическими, гидрологическими и гидроморфологическими показателями в целом относительно слабые (табл. 4), что в ряде случаев объясняется не отсутствием связей как таковых, а их нелинейностью. В целом можно отметить, что суммарное содержание растворённых солей, концентраций Zn и Pb возрастает с: а) увеличением уклонов водотоков и гидроморфологического показателя K_r (табл. 3, рис. 3); б) уменьшением их длины и доли водосбора с речной сетью (табл. 3, рис. 4). В последнем случае физический смысл зависимости может быть выражен уравнением:

$$C = C_0 \frac{Y_0}{Y} \left(\frac{F_0}{F} \right)^b, \quad (5)$$

где C и Y – концентрация вещества и слой водного стока исследуемой реки; C_0 и Y_0 – концентрация

Таблица 1. Морфометрические, геологические и гидрологические характеристики исследуемых водотоков в междуречье рек Гам и Кау

Table 1. Morphometric, geologic and hydrologic characteristics of the researched water-currents between the Gam and Kau rivers

Показатель Index	Единицы измерения Units	Пункт отбора проб воды (номер на рис. 2)/Water sampling point (Fig. 2)									
		NM-01	NM-02	NM-05a	NM-03	NM-05b	NM-09	NM-11	NM-13	NM-15	NM-17
		Река – пункт /River – point									
		Ченгу у п. Йен Тхюонг the Che Ngu river river – Yen Thuong	Банк Кау (Бан Тхи) у п. Йен Тхинг the Ban Cau (Ban Thi) river – Yen Thinh	Бан Тхи у п. Бан Тхи the Ban Thi river	Бан Тхи the Ban Thi river	Дай the Day river	Фо Дай у п. Трунг the Pho Day river	Фо Дай у п. Йен Ми the Pho Day river – Yen My	Кау у п. Донг Виен the Cau river – Dong Vien	Та Диенг у п. На Анх the Ta Dieng river – Na Anh	Та Диенг у п. На Хим the Pho Day river – Na Him
Возраст подстилающих пород Basement age	–	D ₁					O ₃ -S ₁		O ₂ -S ₁ , T ₃ , D ₁₋₂	Долина/valley – aQ; Водосбор/Watershed – T ₃ , D ₁₋₂ , D ₁	
F	км ² (km ²)	43	119	54	23	45	129	33	78	105	134
F ₀		7	27	20	2	7	10	4	15	12	13
L	км/km	6,5	10,6	7,9	5,6	13,8	26,5	13,3	15,0	12,7	19,3
J	м/км (m/km)	36,00	45,66	48,99	60,71	41,23	11,47	17,97	32,80	36,46	25,18
Q _{max} (1 %)	м ³ /с (m ³ /s)	20,1	39,9	23,6	13,4	20,8	40,7	16,6	29,9	36,5	42,6
Q _{max} (10 %)		7,5	14,9	8,8	5,0	7,7	15,2	6,2	11,1	13,6	15,9
M _{max} (10 %)	л/(с·км ²) l/(s·km ²)	174,00	124,91	162,55	216,71	171,96	117,63	186,79	142,56	129,52	118,38
K _r	–	8,14	15,56	9,81	6,56	4,54	3,58	2,28	6,18	11,09	7,74
P(r)	км/км ² km/km ²	0,52	0,40	0,34	0,44	0,31	0,50	0,52	0,33	0,29	0,31
P(f)		0,19	0,16	0,20	0,21	0,26	0,20	0,02	0,17	0,36	0,35
P(rf)		0,08	0,11	0,18	0,15	0,19	0,09	0,00	0,09	0,11	0,11
P(f)P(r)		0,10	0,06	0,07	0,09	0,08	0,10	0,01	0,06	0,10	0,11

Примечание: F – площадь водосбора; F₀ – площадь верхней части водосбора без выраженной речной сети; L – длина водотока от истока; J – средний уклон водотока; Q_{max} (1 %), Q_{max} (10 %) – максимальные расходы воды обеспеченностью 1 и 10 % (по формуле 2); M_{max} (10 %) – максимальный модуль водного стока обеспеченностью 10 %; K_r – гидроморфологический показатель, определяемый по формуле (3); P(r) – густота речной сети; P(f) – отношение суммарной длины тектонических нарушений в пределах водосбора к его площади; P(rf) – отношение суммарной длины совпадающих речной сети и тектонических нарушений в пределах водосбора к его площади (по формуле 6).

Note: F is the basin area; F₀ is the area of the top part of a river basin without the expressed river network; L is the length of the river from a source; J is an average river slope; Q_{max} (1 %), Q_{max} (10 %) are the maximal charges with probability 1 and 10 % (formula 2); M_{max} (10 %) is the maximal module of a water runoff with probability 10 %; K_r is the hydromorphologic parameter (formula 3); P(r) is the density of the river network; P(f) is the relation of total length of tectonic faults within the limits of a basin to its area; P(rf) is the relation of total length conterminous river network and tectonic faults within the limits of a basin to its area (formula 6).

вещества и слой водного стока в верховьях реки без выраженной речной сети; b – коэффициент, отражающий комплекс гидрогеохимических и геоморфологических условий водосбора [17].

Исключительно интересной представляется выявленная зависимость концентраций Pb и Zn от сопряженности речной сети и тектонических нарушений в пределах водосборов. Очевидно, что в ряде случаев повышенные концентрации химических элементов могут быть связаны с разгрузкой подземных вод, приуроченных к зонам разломов, идентифицируемых по ряду признаков, проявляющихся в том числе в формах и геофизических характеристиках рельефа [18–20]. Нами сделано предположение, что соответствующие участки могут быть выявлены следующим образом.

Допустим, что густота речной сети может рассматриваться как вероятность направленного (руслового) движения поверхностных вод по водосбору P(r). Аналогично рассматривается и плотность распространения тектонических нарушений в пределах водосбора P(f). Тогда вероятность их совместного проявления P(rf) в случае независимости друг от друга оценивается как произведение P(r) и P(f), а в случае зависимых величин – по формуле (6):

$$P(rf) = P(r)P(f) = P(f)rP(r). \quad (6)$$

Тогда разность P(rf) – P(r)P(f) может рассматриваться как характеристика взаимосвязанности геологических, геоморфологических и гидрологических процессов. Например, в рассматриваемом случае в целом по территории уезда Чодонь величины P(rf) и P(r)P(f) статистически неразличимы

Таблица 2. Химический состав поверхностных вод в уезде Чодонь провинции Баккан в феврале 2015 г.**Table 2.** Chemical composition of surface waters in Cho Don district of Bac Can province in February, 2015

Показатель Index	Единицы измерения Units	Номер пробы (на рис. 2) / Sample number (Fig. 2)										Среднее Average
		NM-01	NM-02	NM-05a	NM-03	NM-05b	NM-09	NM-11	NM-13	NM-15	NM-17	
Дата отбора Sampling date	–	14.02				15.02	16.02	15.02	16.02			–
pH	ед. pH	8,03	8,00	8,00	7,70	7,75	7,40	7,45	7,50	7,50	7,80	7,71
CO ₂	мг/дм ³	3,50	5,30	6,20	5,30	5,30	7,00	3,50	7,00	5,30	5,30	5,37
УЭП	мКС/см	306	330	340	350	316	114	103	92	198	218	237
Σ _{mi}		291,7	325,9	319,5	335,5	283,4	92,6	87,7	73,9	178,2	189,4	217,8
Ca ²⁺		61,6	72,3	71,7	74,2	58,0	12,3	11,7	11,0	36,4	39,0	44,8
Mg ²⁺		6,5	5,5	5,4	5,8	7,3	4,4	3,6	2,2	3,8	3,9	4,8
Na ⁺		1,4	1,2	1,2	1,3	3,5	4,1	4,1	3,8	2,7	2,4	2,6
K ⁺		1,1	0,7	0,6	0,9	1,8	2,6	2,7	2,2	1,4	1,3	1,5
HCO ₃ ⁻		213,0	232,0	227,0	238,0	185,0	63,0	61,0	49,0	124,0	134,0	152,6
SO ₄ ²⁻		6,3	12,6	12,1	13,4	26,2	4,2	3,2	3,9	8,6	7,6	9,8
Cl ⁻		1,8	1,6	1,5	1,9	1,6	2,0	1,4	1,8	1,3	1,2	1,6
Si		4,93	4,58	4,18	4,33	7,01	11,29	10,42	8,91	7,44	6,58	6,97
NH ₄ ⁺		0,140	0,170	0,150	0,210	0,120	0,180	0,120	0,150	0,190	0,150	0,158
NO ₂		0,010	0,033	0,028	0,044	0,010	0,031	0,041	0,044	0,027	0,053	0,032
NO ₃ ⁻		2,380	3,410	4,340	3,780	2,500	1,460	0,960	2,280	2,120	2,260	2,549
PO ₄ ³⁻		0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,080	0,065	0,076	0,025	0,025	0,040
Fe		0,170	0,130	0,100	0,130	0,120	0,230	0,480	0,250	0,190	0,150	0,195
Zn		8,60	51,00	80,00	140,00	58,00	8,50	6,70	6,80	29,00	8,30	39,69
Cd		0,02	0,09	0,15	0,44	0,13	0,30	0,20	0,02	0,03	0,03	0,14
Pb		1,30	7,30	11,00	18,00	4,60	0,53	0,98	1,50	1,30	1,50	4,80
Cu		2,10	1,10	2,20	2,00	1,80	1,10	2,00	1,70	1,90	2,20	1,81
Al		155	253	143	40	142	70	328	464	141	172	191
ПО	мгО/дм ³	0,58	0,36	0,28	0,46	0,40	1,00	0,82	1,02	0,56	0,58	0,61

Таблица 3. Индекс насыщения поверхностных вод в уезде Чодонь провинции Баккан в феврале 2015 г. (по формуле 1)**Table 3.** Index of saturation of surface waters in Cho Don district of Bac Can province in February, 2015 (formula 1)

Формула/Formula	Номер пробы (на рис. 2) / Sample number (Fig. 2)									
	NM-01	NM-02	NM-05a	NM-03	NM-05b	NM-09	NM-11	NM-13	NM-15	NM-17
CaCO ₃ (кальцит) = Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻	0,00	0,07	0,07	-0,22	-0,38	-9,19	-2,59	-9,22	-1,13	-0,64
CaCO ₃ (кальцит) + CO ₂ + H ₂ O = Ca ²⁺ + 2HCO ₃ ⁻	0,43	0,38	0,30	0,42	0,10	-1,53	-1,27	-1,78	-0,39	-0,29
CaMg(CO ₃) ₂ (доломит) = Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + 2CO ₃ ²⁻	0,06	0,06	0,04	-0,51	-0,63	-17,80	-4,66	-18,12	-2,20	-1,25
CaMg(CO ₃) ₂ (доломит) + 2CO ₂ + 2H ₂ O = = Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + 4HCO ₃ ⁻	0,92	0,68	0,50	0,78	0,34	-2,48	-2,03	-3,23	-0,73	-0,56
Ca (ГК) = Ca ²⁺ + ГК	1,01	1,07	1,07	1,08	0,98	0,36	0,35	0,33	0,81	0,84
Mg (ГК) = Mg ²⁺ + ГК	0,76	0,68	0,67	0,70	0,81	0,64	0,56	0,35	0,55	0,56
SiO ₂ (кварц) + 2H ₂ O = H ₄ SiO ₄ ⁰	0,30	0,27	0,23	0,25	0,46	0,67	0,64	0,57	0,49	0,43
CaAl ₂ Si ₂ O ₈ (анортит) + 3H ₂ O + 2CO ₂ = = Al ₂ Si ₂ O ₇ ·2H ₂ O(каолинит) + Ca ²⁺ + 2HCO ₃ ⁻	-256,27	-256,50	-256,66	-256,46	-256,78	-258,54	-257,98	-258,79	-257,28	-257,18
NaAlSi ₃ O ₈ (альбит) + 7H ₂ O + H ⁺ = = Al ₂ O ₃ ·H ₂ O(гибсит) + Na ⁺ + 3H ₄ SiO ₄ ⁰	-204,39	-204,58	-204,70	-204,90	-203,79	-203,43	-203,49	-203,67	-204,07	-203,99
2NaAlSi ₃ O ₈ (альбит) + 11H ₂ O + 2CO ₂ = = Al ₂ Si ₂ O ₇ ·2H ₂ O(каолинит) + 2Na ⁺ + 2HCO ₃ ⁻ + + 4H ₄ SiO ₄ ⁰	-11,06	-11,61	-11,92	-11,59	-10,11	-10,25	-9,82	-10,94	-10,53	-10,80
ZnSO ₄ (цинксит) = Zn ²⁺ + SO ₄ ²⁻	-16,37	-15,25	-15,07	-13,91	-14,48	-15,69	-15,94	-15,87	-14,95	-15,89
ZnCO ₃ (смитсонит) = Zn ²⁺ + CO ₃ ²⁻	-2,96	-2,13	-1,94	-1,11	-2,05	-10,70	-4,22	-10,86	-2,64	-3,07

(по результатам проверки при уровне значимости 5 %: фактическое и критическое значения критерия Стьюдента – 1,60 и 2,10 соответственно; фактическое и критические значения Уилкоксона – 74 и 16...84; фактическое и критическое значения

критерия Фишера – 3,34 и 4,03). Однако наиболее высокие концентрации Zn и Pb обнаружены в водах реки Бан Тхи и верховий реки Дай, приуроченных к тектоническим нарушениям и отложениям нижнего девона (рис. 5).

Таблица 4. Статистически значимые коэффициенты корреляции между гидрохимическими, гидрологическими и гидроморфологическими показателями (при уровне значимости 5 % и выполнении условия (4))

Table 4. Statistically significant factors of correlation between hydrochemical, hydrological and hydromorphological parameters (at significance point 5 % and fulfillment of (4))

Показатель Index	F	L	J	K _r	Q _{max} (1%)	Q _{max} (10%)	M _{max} (10%)
pH	-	-0,60	0,57	0,61	-	-	-
УЭП	-	-0,69	0,83	0,52	-	-	-
Σ _{ми}	-	-0,71	0,84	0,55	-	-	-
Ca ²⁺	-	-0,72	0,85	0,59	-	-	-
Mg ²⁺	-	-	-	-	-	-	-
Na ⁺	-	0,72	-0,76	-0,72	-	-	-
K ⁺	-	0,68	-0,80	-0,78	-	-	-
HCO ₃ ⁻	-	-0,73	0,83	0,57	-	-	-
SO ₄ ²⁻	-	-	0,58	-	-	-	-
Cl ⁻	-	-	-	-	-	-	-
Si	-	0,78	-0,86	-0,67	-	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	-	-	-	-	-
NO ₂ ⁻	-	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-0,63	0,89	0,59	-	-	-
PO ₄ ³⁻	-	0,62	-0,69	-0,60	-	-	-
F ⁻	-	0,54	-0,68	-0,56	-	-	-
Fe	-	-	-0,65	-0,56	-	-	-
Zn	-	-0,58	0,86	-	-0,50	-0,50	0,66
Cd	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-0,61	0,85	-	-	-	0,67
Cu	-0,51	-	-	-	-0,65	-0,65	0,55
Al	-	-	-	-	-	-	-
ПО	-	0,64	-0,75	-0,59	-	-	-

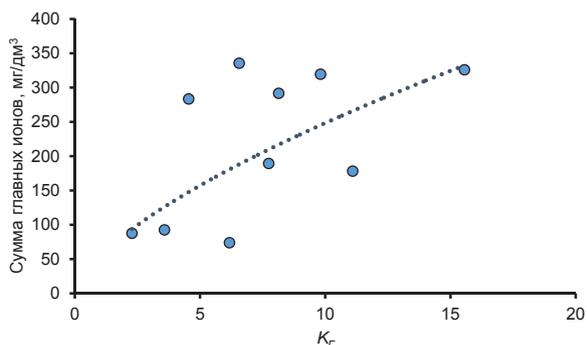


Рис. 3. Зависимость суммы главных ионов Σ_{ми} от гидроморфологического показателя K_r (Σ_{ми}=54,421K_r^{0,659}; R²=0,39)

Fig. 3. Dependence of the sum of main ions Σ_{mi} on the hydromorphological parameter K_r (Σ_{mi}=54,421K_r^{0,659}; R²=0,39)

Выводы

Поверхностные воды в междуречье рек Гам и Кау характеризуются как пресные с низким содержанием органических веществ и относительно повышенным содержанием ряда металлов (Zn, Pb, Fe, Al).

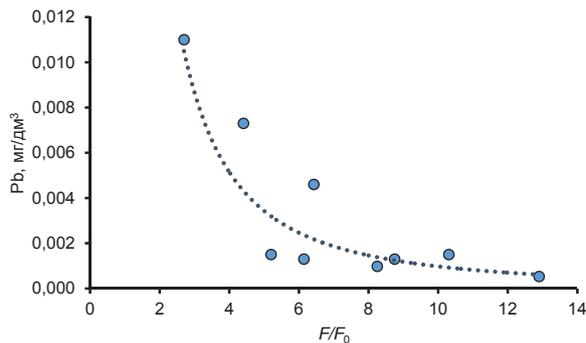


Рис. 4. Зависимость концентраций Pb от соотношения суммарной площади водосбора F и площади верховой без речной сети F₀ (Pb=0,064(F/F₀)^{-1,813}; R²=0,73; общий вид зависимости (5) без учёта пробы NM-03 с повышенным содержанием Pb

Fig. 4. Dependence of Pb concentration on the ratio of the total area of the river basin F and the area of the basin upstream without river network F₀ (Pb=0,064F/F₀)^{-1,813}; R²=0,73); general view of the dependence (5) without sample NM-03 with increased content of Pb

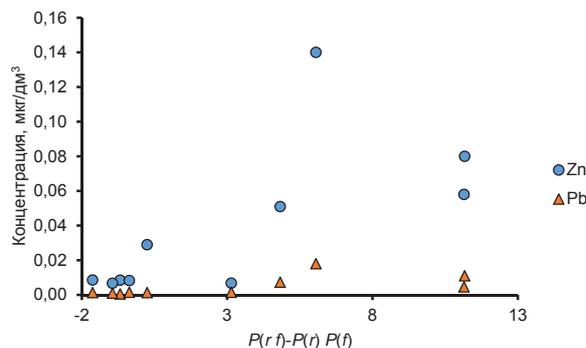


Рис. 5. Зависимости концентраций Zn и Pb от разницы вероятности пересечения тектонических нарушений P(rf) и произведения величин P(r) и P(f) (Zn=0,0062(P(rf)-P(r))P(f))+0,0193; R²=0,47; Pb=0,0008(P(rf)-P(r))P(f))+0,0023; R²=0,41)

Fig. 5. Dependences of Zn and Pb concentration on the difference of probability of crossing tectonic faults P(rf) and the products of values P(r) and P(f) (Zn=0,0062(P(rf)-P(r))P(f))+0,0193; R²=0,47; Pb=0,0008(P(rf)-P(r))P(f))+0,0023; R²=0,41)

Геологическое строение исследуемого района характеризуется наличием гранитно-метаморфогенного фундамента, состоящего из переработанных выступов континентальной коры и перекрытого палеозойско-раннемезозойскими геосинклинально-складчатými образованиями [21]. В водосборе реки Бан Тхи и в верховьях реки Дай речная сеть приурочена к тектоническим нарушениям, что способствует увеличению выноса Zn и Pb, рудопроявления которых выявлены на указанных участках. Дополнительным фактором увеличения концентраций Zn и Pb является увеличение доли площади водосбора в верховьях рек без выраженной речной сети (F/F₀). На основе полученных в феврале 2015 г. данных можно предположить, что использование характеристик сопряжённости тектонических нарушений и речной сети и величины

F/F_0 являются критериями эффективных поисков рудопроявлений в регионе.

С учётом этого повышенные концентрации Zn, Pb, Fe, Al объясняются преимущественно влияни-

ем природных факторов, что, безусловно, не исключает возможности загрязнения поверхностных вод в результате текущей и ранее осуществлявшейся хозяйственной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вода. Общие требования к отбору проб. ГОСТ Р 51592–2000. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 34 с.
2. Савичев О.Г., Колоколова О.В., Жуковская Е.А. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами // Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 108–119.
3. Grenthe I., Puigdomenech I. Symbols, standards and conventions // Modelling in aquatic chemistry / ed. I. Grenthe, I. Puigdomenech. – Paris: Nuclear energy agency, 1997. – P. 35–68.
4. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models. P. I. A discussion of principles // Journal of Hydrology. – 1970. – V. 3. – № 10. – P. 282–290.
5. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М.: Наука, 1982. – 271 с.
6. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобановой. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
7. Пособие к СНиП 2.05.03–84 по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91). – М.: ГУПНКС, 1992. – 374 с.
8. Бузин В.А. Опасные гидрологические явления. – СПб.: РГГМУ, 2008. – 228 с.
9. Mujumdar P.P., Kumar D.N. Floods in a Changing Climate. Hydrologic Modeling. – New York: Cambridge University Press, 2012. – 177 p.
10. Савичев О.Г., Паромов В.В. Метод определения характерных расходов воды рек гумидных областей Западной Сибири при отсутствии данных наблюдений // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (14). – С. 3157–3160.
11. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 444 с.
12. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. ГОСТ 17.1.2.04.-77. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 17 с.
13. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / под ред. Т.В. Гусевой. – М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2007. – 192 с.
14. Государственная техническая норма качества воды (QCVN 38:2011/ ВТНМТ). – Ханой: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2011. – 6 с. / на вьетнам. яз.
15. Фридланд В.М. Почвы и коры выветривания влажных тропиков (на примере Северного Вьетнама). – М.: Наука, 1964. – 312 с.
16. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // Geochemistry International. – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398.
17. Савичев О.Г., Домаренко В.А. Закономерности изменения химического состава речных отложений и их использование в поисках полезных ископаемых // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6 (3). – С. 520–525.
18. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. – М.: Геокарт, 2006. – 244 с.
19. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая) / А.А. Поцелуев, Ю.С. Ананьев, В.Г. Житков, В.Н. Назаров, А.С. Кузнецов – Томск: STT, 2007. – 228 с.
20. Малолетко А.М. Эволюция речных систем Западной Сибири в мезозое и кайнозое. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2008. – 288 с.
21. Дао Мань Тиен. Методология и особенности геохимической специализации гранитоидных формаций Северного Вьетнама: дис.... канд. геол.-минерал. наук. – Баку, 1984. – 198 с.

Поступила 08.05.2015 г.

UDC 556.06:551.482.212

HYDROECOLOGICAL CONDITION BETWEEN THE GAM AND KAU RIVERS (NORTHERN VIETNAM)

Oleg G. Savichev,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: OSavichev@mail.ru

Nguyen Van Luen,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: Luyennv@yahoo.com

Relevance. Researches of a ecology-geochemical condition of water objects have both important applied, and fundamental scientific value as the major problems of similar researches are definition of a geochemical background and deviations from it, and also revealing of natural and anthropogenous factors of formation both background, and abnormal concentration. Similar researches in Southeast Asia, including northern part of Vietnam, are especially actual. There, in conditions of high population density, the importance of maintenance of economy with water of necessary quality and preservation of environment grows repeatedly.

The aim of the research is to estimate the modern ecology-geochemical condition of surface waters in district Cho Don of province Bac Can (Vietnam) and its connection with hydrological and geomorphological conditions.

Methods of the research: landscape-geochemical, geography-hydrological and statistical methods.

Results and conclusions. The authors have obtained the data on ecology-geochemical state of surface waters in the area between the Gam and Kau rivers (Northern Vietnam, province Bac Can, district Cho Don). These waters in low flow period are characterized as fresh with the low contents of organic substances and relatively increased contents of some metals (Zn, Pb, Fe, Al). They are everywhere capable to dissolve primary aluminosilicates with formation of clay minerals and they are oversaturated with quartz. The oversaturation with carbonate minerals is typical for a basin of the Ban Thi river and upper of the Day river. It is established that in a basin of the Ban Thi river and in upstream of the Day river the river network is dated to tectonic faults that promotes the increase of Zn and Pb runoff. The increase in a share of the basin area in the upstream of the rivers without the expressed river network F/F_0 is the additional factor of increase in concentration of Zn and Pb. On the basis of the data received in February 2015 it is assumed that characteristics of tectonic faults interlinking with the river network and the value F/F_0 are the criteria of effective searches of geochemical anomalies in the region. The increased concentrations of Zn, Pb, Fe, Al are mainly explained by the influence of natural factors. This does not certainly exclude an opportunity of polluting superficial waters as a result of current economic activities and the one carried out before.

Key words:

Northern Vietnam, river waters, hydromorphological and geological factors.

REFERENCES

1. *Voda. Obshchie trebovaniya k otboru prob. GOST R 51592-2000* [Water. General requirements for sampling]. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2000. 34 p.
2. Savichev O.G., Kolokolova O.V., Zhukovskaya E.A. Sostav i ravnovesie donnykh otlozheniy r. Tom s rechnymi vodami [Composition and balance of river sediments of the Tom river with river waters]. *Geoekologia – Geoecology*, 2003, no. 2, pp. 108–119.
3. Grenthe I., Puigdomenech I. Symbols, standards and conventions. *Modelling in aquatic chemistry*. Ed. I. Grenthe, I. Puigdomenech. Paris, Nuclear energy agency, 1997. pp. 35–68.
4. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models. P. I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 1970, vol. 3, no. 10, pp. 282–290.
5. Kritskiy S.N., Menkel M.F. Hidrologicheskie osnovy upravleniya vodokhozyaystvennymi sistemami [Hydrological bases of management of water-economic systems]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 271 p.
6. *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [The manual by definition of hydrological characteristics]. Eds. A.V. Rozhdvestvensky, A.G. Lobanova. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1984. 448 p.
7. *Posobie k SNiP 2.05.03-84 po izyskaniyam i proektirovaniyu zhelezodorozhnykh i avtodorozhnykh mostov (PMP-91)* [The manual to Russian Building norms 2.05.03-84 on research and design of railway and road bridge transitions through water-currents]. Moscow, GUPiKS Press, 1992. 374 p.
8. Buzin V.A. *Opasnye gidrologicheskie yavleniya* [Dangerous hydrological phenomena]. St. Petersburg, RSHU Press, 2008. 228 p.
9. Mujumdar P.P., Kumar D.N. *Floods in a Changing Climate. Hydrologic Modeling*. New York, Cambridge University Press, 2012. 177 p.
10. Savichev O.G., Paromov V.V. Metod opredeleniya kharakternykh raskhodov vody rek gumidnykh oblastey Zapadnoy Sibiri pri otсутstviy dannykh nablyudeniya [Method of estimating characteristics of river runoff flow without the supervision data]. *Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research*, 2013, no. 10 (14), pp. 3157–3160.
11. Alekin O.A. *Osnovy gidrokhimii* [Bases of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970. 444 p.
12. *Pokazateli sostoyaniya i pravila taksatsii rybokhozyaystvennykh vodnykh obektov. GOST 17.1.2.04-77* [Parameters of conditions and rule of valuation of fish water objects. GOST 17.1.2.04-77]. Moscow, Gosstandard Publ., 1977. 17 p.
13. *Gidrokhemicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchey sredy* [Hydrochemical parameters of the environmental conditions]. Ed. by T.V. Guseva. Moscow, FORUM, INFRA-M Publ., 2007. 192 p.
14. *Gosudarstvennaya tekhnicheskaya norma kachestva vody* [The state technical norm of water quality] (QCVN 38:2011/ BTNMT). Khanoi, Ministry of Natural Resources and Environment Protection, 2011. 6 p. / in Vietnam.
15. Fridland V.M. *Pochvy i kory vyvetrivaniya vlazhnykh tropikov (na primere Severnogo Vietnama)* [Ground of humidic tropics (by the example of Northern Vietnam)]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 312 p.
16. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth. *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, no. 13, pp. 1285–1398.
17. Savichev O.G., Domarenko V.A. Zakonomernosti izmeneniya khimicheskogo sostava rechnykh otlozheniy i ikh ispolzovanie v poiskakh poleznykh iskopaemykh [Laws of change of the chemical composition of river sediments and their use in searching minerals]. *Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research*, 2014, no. 6 (3), pp. 520–525.
18. Korchuganova N.I. *Aerokosmicheskie metody v geologii* [Remote methods in geology]. Moscow, Geokart Publ., 2006. 244 p.
19. Potseluev A.A., Ananiev Yu.S., Zhitkov V.G., Nazarov V.N., Kuznetsov A.S. *Dstantsionnye metody geologicheskikh issledovaniy, prognoza i poiska poleznykh iskopaemykh (na primere Rudnogo Altaya)* [Remote methods of geological research, forecast and searches of minerals (by examples of Altay)]. Tomsk, STT Publ., 2007. 228 p.
20. Maloletko A.M. *Evolutsiya rechnykh sistem Zapadnoy Sibiri v mezozoe i kaynozoe* [Evolution of river systems of Western Siberia in Cenozoic and Mesozoic]. Tomsk, TSU Press, 2008. 288 p.
21. Dao Man Tien. *Metodologiya i osobennosti geokhemicheskoy spetsializatsii granitoidnykh formatsiy Severnogo Vietnama. Dis. Kand. nauk* [Methodology and features of geochemical specialization of granite formations of Northern Vietnam. Cand. Sc. Diss.]. Baku, 1984. 198 p.

Received: 08 May 2015.