

**© В.Ю. ХОРОШАВИН, М.Г. ЕФИМЕНКО**

*Тюменский государственный университет  
purriver@mail.ru, inzem@utmn.ru*

**УДК 504.45 : 504.062**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ  
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД  
С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ КРИТИЧЕСКИХ АНТРОПОГЕННЫХ НАГРУЗОК  
И УСТОЙЧИВОСТИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ\***

**THE STUDY OF NATURAL PROCESSES IN THE FORMATION  
OF CHEMICAL COMPOSITION OF SURFACE WATERS,  
IN ORDER TO ASSESS THE CRITICAL ANTHROPOGENIC LOADS  
AND SUSTAINABILITY OF AQUATIC ECOSYSTEMS  
OF THE BOREAL ECOREGION OF WESTERN SIBERIA**

*АННОТАЦИЯ. Путем полевых исследований, химико-аналитических работ и анализа отчетной документации проектно-изыскательских организаций, обработки более чем 130 проб воды найдены средние (медианные) значения основных гидрохимических параметров, содержание тяжелых металлов (микроэлементов) для водных объектов, не испытывающих в настоящий момент прямого антропогенного воздействия. На основе сопряженного анализа данных о химическом составе поверхностных вод северо-таежной территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа, климатических особенностей территории и ландшафтно-гидрологической, ландшафтно-геохимической обстановки выявлены основные факторы, определяющие природный химический состав вод рек и озер исследуемой территории. С применением методов статистической обработки данных, в частности, факторного анализа, определен вклад каждого из природных факторов в сложение химического состава поверхностных вод территории, описаны особенности процессов форсирования качества вод под влиянием каждого из факторов. Для более полноценного ранжирования факторов установлены источники водного питания рек и озер территории путем расчленения гидрографа хорошо изученной в гидрологическом отношении р. Пур. Сделаны выводы о лидирующей роли геохимических особенностей почв в формировании химического состава поверхностных вод северной тайги Западной Сибири.*

---

*\* Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ (№ госрегистрации темы НИР 01201460003)*

---

*SUMMARY. Through the field research, chemical analysis and analysis of report documentation of planning and surveying organizations, and processing more than 130 water samples we found the average (median) values of the main hydrochemical parameters, the level of heavy metals (trace elements) for water bodies that at the moment do not have a direct anthropogenic impact.*

*On the basis of adjacent data analysis on the chemical composition of surface waters of the boreal ecoregion in Purovsky District of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, the climatic peculiarities of the territory and landscape-hydrological, landscape-geochemical conditions we identified the main factors that determine the natural chemical composition of the waters of rivers and lakes in the investigated territory. Using methods of statistical data processing, in particular, factor analysis, we determined the contribution of each of the natural factors in addition to the chemical composition of surface waters of the territory described and peculiarities of the process of forcing water quality under the influence of each factor. For a more complete ranking of factors we established sources of water supply of lakes and rivers in the studied territory by means of splitting the hydrograph of the well-studied (from the hydrological point of view) Pur river. Conclusions are made about the leading role of geochemical characteristics of soils in the formation of chemical composition of surface waters of the boreal ecoregion of West Siberia.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Качество вод, критические нагрузки, техногенное загрязнение вод, северная тайга, Западная Сибирь*

*KEY WORDS. Water quality, critical load, technogenic contamination of water, boreal ecoregion, Western Siberia.*

**Введение.** Одной из актуальных задач современной экологии является разработка методики оценки критических антропогенных нагрузок, устойчивости экосистем. Особую актуальность эта проблема приобретает по отношению к водным экосистемам в условиях арктических и субарктических территорий. Первым шагом при решении данной задачи является исследование естественного (фоновое) химического состава вод рек, озер, болотных вод, являющихся интегральным показателем качества окружающей природной среды и оперативным индикатором негативного антропогенного воздействия. Выявление естественных процессов формирования химического состава вод возможно на основе сопряженного анализа фактически сформировавшегося химического состава вод водных объектов, акватории и водосборы которых не испытывают в настоящее время прямого антропогенного воздействия, и физико-географических факторов формирования качества вод — климатических и ландшафтных особенностей территорий водосборов (геохимия водовмещающих и почвообразующих горных пород, химический состав почв, биогеохимия растительности и пр.).

**Объекты и методы исследования.** Для проведения исследований был выбран один из наиболее изученных в гидрологическом и гидрохимическом отношении районов северной тайги Западной Сибири — южная часть Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), в пределах которой расположены верховья р. Пур, в частности, ее крупнейшие притоки — реки Пякупур и Айвасадапур, здесь же расположено значительное количество малых озер (более 15 тыс.). В качестве материала для выявления основных гидрохимических характеристик поверхностных вод исследуемой территории использованы результаты химико-аналитических работ по 130 образцам воды, отобранных в период с 2009 по 2013 гг. в рамках проектно-изыскательских работ на

проектируемых переходах трубопроводов, железных и автомобильных дорог через малые и средние реки территории, при обустройстве нефтяных и газовых месторождений, а также при реализации нескольких исследовательских проектов, поддержанных Министерством образования и науки Российской Федерации; часть материалов взята из литературных источников [1; 2].

Химические характеристики горных пород, почв и растительности взяты из научной литературы, в частности, из монографий [3; 4], а также приведены по оригинальным данным исследований лаборатории качества вод, устойчивости водных экосистем и экотоксикологии Тюменского государственного университета (2010-2013 гг.) [5].

Методологической базой для выполнения работ послужили ландшафтно-гидрологический и бассейновый подходы, суть которых с учетом особенностей Сибири изложена в работах [6; 7]. В методическом аспекте работа основана на сопряженном анализе гидролого-гидрохимических показателей поверхностных вод и геохимических показателей природных сред, участвующих в формировании водного и химического стока территории. Предварительный ландшафтно-гидрологический и ландшафтно-геохимический анализ территории был произведен с целью наиболее полного описания механизмов поступления веществ в водотоки.

Непосредственным инструментом сопряженного анализа гидрохимической специфики поверхностных вод и геохимических особенностей природных факторов формирования химического состава вод стал факторный анализ, реализуемый при помощи метода главных компонент с применением программного продукта Statistica 8.0. Исследование системы признаков, проведенное на основе факторного анализа, позволило вскрыть логическую структуру сложного явления — формирования химического состава поверхностных вод, отделить взаимозависимые признаки от независимых, проверить или выдвинуть гипотезу о взаимосвязях в сложной системе признаков — факторов формирования гидрохимических свойств. В качестве сравниваемых признаков приняты: концентрации главных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ), соединений азота ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), макроэлементов Mn, Fe, Al, микроэлементов V, Ti, Cr, Zr, Be, Y, Yb, Ba, Sr, Ni, Cu, Zn, Pb, Ga.

Для лучшей интерпретации полученных фактов данный метод применялся для всей совокупности гидрохимических данных, собранных на протяжении пяти лет в период летней и летне-осенней межени.

**Результаты и их обсуждение.** Для комплексного описания поступления химических веществ в воды в бассейнах истоков р. Пур был проанализирован внутригодовой режим рек и озер, что позволило более полно определить источники питания, с которыми возможно поступление химических элементов и веществ.

Для водного режима рек верховьев водосбора р. Пур характерно высокое весеннее половодье и низкие летняя и зимняя межень, летние и осенние дождевые паводки (рис. 1). Половодье в верхнем и среднем течении р. Пур обычно начинается в середине мая, средняя продолжительность — от 75 дней. Пик половодья приходится на начало-середину июня. Средний годовой объем стока в месте слияния р. Пякупур и Айвасадапур составляет 17,8 км<sup>3</sup>. Основной сток проходит весной-летом [8; 9]. Самый многоводный месяц — июнь, самые мало-

водные — март и апрель. Наиболее критичная водно-экологическая ситуация складывается в период межени, поэтому наибольший интерес представляют процессы взаимодействия ландшафта и водной среды в меженный период года, зимой и в конце лета.

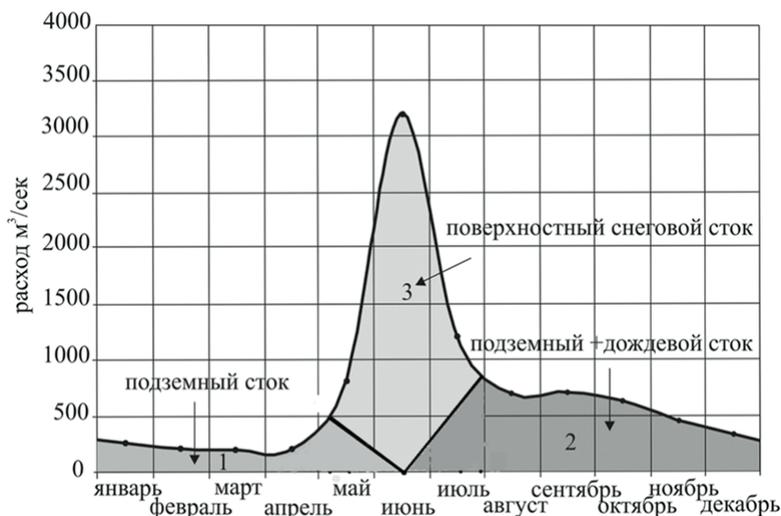


Рис. 1. Расчленение гидрографа р. Пур по источникам водного питания (по среднегодовым данным, по материалам [10])

В период зимней межени основным источником питания является подземный сток, в летние и осенние месяцы дождевой сток преобладает над подземным, но не исключает его влияния.

Определение суммарного стока за весь год производится по гидрографу, с помощью него выделены и объемы подземного и снегового стока, выраженные в процентах к годовому стоку (области 1, 2, 3, рис. 1). Результаты расчета приведены в табл. 1.

Подземное питание рек осуществляется за счет стока в реку внутрипочвенных, грунтовых и напорных подземных вод. Динамика подземного стока зависит от степени гидравлической связанности водоносных (напорных и безнапорных) горизонтов с рекой.

Таблица 1

Соотношение источников питания р. Пур [11]

Площадь гидрографа (S), м <sup>3</sup> /год			Осенние осадки, м <sup>3</sup> /год	Весь подземный сток, м <sup>3</sup> /год	Общий сток, м <sup>3</sup> /год	Объем стока талых вод ко всему объему стока, %	Объем осеннего дождевого стока от всего объема стока, %	Объем подземного стока от всего объема стока, %
Подземный сток (1)	Подземный сток и осенние осадки (2)	Поверхностный сток (3)						
2,7*10 <sup>9</sup>	8,2*10 <sup>9</sup>	12,6*10 <sup>9</sup>	4,7*10 <sup>9</sup>	6,2*10 <sup>9</sup>	23,5*10 <sup>9</sup>	54	20	26

В работе [11] представлены графики изменений уровней в реках бассейна р. Пур и в скважинах прилегающих водозаборов г. Тарко-Сале. Один из графиков (рис. 2) показывает, что региональный эоцен-четвертичный водоносный комплекс имеет гидравлическую связь с реками.

Вклад подземных вод в формирование годового стока составляет 26% (табл. 1). Исходя из этого, необходимо рассмотреть химические особенности подземных вод исследуемого района. Питание эоцен-четвертичного водоносного комплекса осуществляется в теплое время года за счет фильтрации атмосферных осадков и перетекания из вышележащих водоносных горизонтов, разгрузка происходит по современным эрозионным врезам. Водовмещающими отложениями являются разнородные пески с прослоями глины общей мощностью до 150 м. Водоносный горизонт напорный, величина напора над кровлей изменяется от 60 до 90 м. [12].

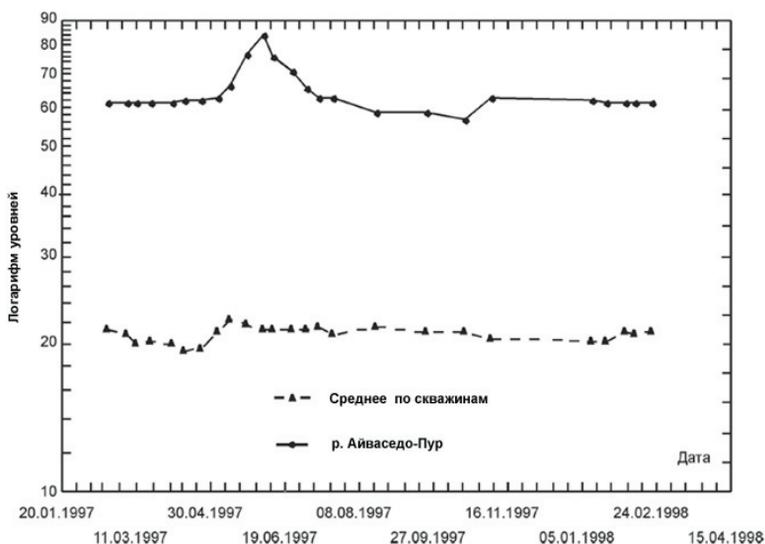


Рис. 2. График изменений уровней по р. Айваседо-Пур и в скважинах водозабора г. Тарко-Сале [11]

В анионном составе доминирующее положение занимает  $\text{HCO}_3^-$ . Гидрокарбонатные воды чаще всего формируются при растворении карбонатов кальция. В условиях влажного климата и инертных пород большое значение приобретает разложение органических веществ. В результате происходит обогащение подземных вод  $\text{CO}_2$  и органическими кислотами, что делает их химически активными и вызывает выщелачивание элементов из водовмещающих пород и высокие концентрации гидрокарбонатов в подземных водах.

Хлорид-ионы, благодаря своей высокой миграционной способности, присутствуют во всех природных водах, при этом они не образуют труднорастворимых минералов и не накапливаются биогенным путем. Главным источником сульфатов являются процессы растворения серосодержащих минералов, в основном гипса, а также окисления сульфидов и серы. Сульфат-ионы очень подвижны [12].

Среди катионов на первом месте по растворимости стоит Na. Все его соли натрия обладают высокой растворимостью. Одним из важных источников Ca в водах являются кальцийсодержащие минералы. Mg по своим химическим свойствам близок к Ca, однако его активность слабее. В местных подземных водах его содержится 0,28-1,52 мг/дм<sup>3</sup> [1].

Главным источником соединений железа в подземных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуются сложные комплексы соединений железа, находящегося в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях [13]. Высокое содержание железа определяет повышенную цветность вод.

Неорганические соединения азота (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) могут образовываться при разложении азотсодержащих органических соединений или же поступают в подземные воды при инфильтрации атмосферных осадков.

Содержание органических веществ гумусового ряда является благоприятным и для накопления Mn, его высокое содержание в подземных водах является природной особенностью Западной Сибири.

Наибольшее количество воды рекам и озерам региона дают атмосферные осадки, в частности снег. Они формируются под влиянием как континентальных, так и морских воздушных масс. Аэрозоли, образованные над океанами, имеют химический состав, сходный с составом океанической воды, в них высокое содержание ионов Na, Mg, K, Cl. Для тайги выпадение солей с осадками составляет 5-10 т/км<sup>2</sup> в год. Часть солей вступает в процессы биологического круговорота, а в мерзлотных ландшафтах, характерных для исследуемой территории, большая их часть выбывает с речным стоком. Континентальные источники поступления веществ в атмосферные аэрозоли имеют не меньшее значение, и концентрация микроэлементов в твердой фазе континентальных аэрозолей в несколько раз выше, чем в океанических. Состав континентальных аэрозолей в основном идентичен составу почв, над которыми формируются воздушные массы [14].

Часть выпавших атмосферных осадков фильтруется в почву, насыщается химическими элементами, выносится с поверхностным и внутрипочвенным стоком вниз по склону долины реки к пойме, откуда, трансформируясь под влиянием пойменной растительности, обогащаясь органическими веществами, почвенная вода поступает в водоток.

Поэтому, анализируя процессы формирования химического состава вод, вещественный состав твердых и жидких атмосферных осадков, целесообразно рассматривать вместе с ландшафтными, в первую очередь почвенными, характеристиками исследуемого района.

Северотаежная часть бассейна р. Пур находится в пределах Урало-Енисейской северо-таежной ландшафтной области и относится к Пуровско-Тазовской северо-таежной провинции, Среднепурскому долинному району [9]. Многолетние мерзлые породы (ММП) в данной местности характеризуются массивно-островным распространением. Острова мерзлых почв приурочены в основном к массивам торфяников. Низинный малоамплитудный рельеф и слабая дренированность определили резкое преобладание в ландшафтной струк-

туре болот. Ландшафты дренированного ряда расположены только в полосах придолинной обсушки. Они представлены плоскими поверхностями надпойменных террас, покрытыми сосновыми и сосново-лиственничными лишайниковыми лесами на иллювиально-железистых подзолах [4; 9].

Осадки в жидкой фазе маломинерализованы и интенсивно промывают почву, они растворяют большое количество органических веществ, поэтому склоновые воды отличаются большой цветностью, малой минерализацией (10-20 мг/л), низким рН (4,0-4,6) и резко выраженным преобладанием в анионном составе  $\text{SO}_4^{2-}$ . В иллювиально-железистых подзолах большой подвижностью отличаются Sr, Ba, Cu, Zn, Cd, в гидроморфных — болотных и пойменных ландшафтах почвы — значительной подвижностью характеризуются  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , Sr, Ba, Pb, Al.

Комплексная оценка роли всех факторов формирования химического состава поверхностных вод осуществлялась при помощи факторного анализа, который достаточно широко применяется при обработке гидрохимических массивов данных. Факторный анализ позволяет устанавливать наличие зависимостей между различными компонентами водных экосистем, учитывать совокупное действие многих факторов, ранжировать установленные зависимости по величине собственных критериев значимости.

Для выявления основных факторов формирования химического состава поверхностных вод взята база данных, содержащая более 1000 значений показателей, приведенных в разделе «Материалы и методы» данной статьи.

В ходе работы был применен метод главных компонент с варимаксным нормализованным вращением корреляционной матрицы, суть которого изложена в работе [15].

В ходе вращения матрицы выделено три главных фактора, имеющих наибольшую корреляционную значимость, на которые в сумме приходится 65,1 % учтенной дисперсии всей выборки. Этим факторам соответствует высокая корреляционная связь со следующими элементами и ионами (табл. 2). Стоит отметить, что в таблице указаны значения факторных весов переменных более 0,7.

Из 65,1% выборки 30,1% приходится на фактор № 1. Фактор объединяет элементы, которые в большом количестве содержатся в почвах. Значительный вклад этого фактора в процентном соотношении еще раз подтверждает большую роль почвенного покрова в условиях северной тайги. Содержание в водах таких микроэлементов как Mn, Fe, P, Ba, Sr, Ti, Zr определяется их миграцией из почвенного покрова. Количество Zr и Ti в почвах находится выше кларковых значений и объясняется геологическим строением Сибирских Увалов и Пурской низменности [9]. Судя по всему, в небольших количествах Ti и Zr выщелачивается из минералов и вместе с внутрипочвенным стоком поступает в поверхностные воды рек и озер бассейна.

Таблица 2

**Результаты факторного анализа (метод главных компонент)**

Переменные	№ фактора		
	1	2	3
Ca <sup>2+</sup>			0,75
Mg <sup>2+</sup>			0,70

Окончание табл. 2

Na <sup>+</sup>			0,80
K <sup>+</sup>			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			0,95
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			0,81
Cl <sup>-</sup>			
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0,95	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		0,87	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,90	
Cu <sup>2+</sup>			
Mn	0,90	0,95	0,85
Al		0,80	
Cr			
Zr	0,70		
P	0,80	0,7	
Be			
Ba	0,85		
Sr	0,75		
Ti	0,70		
Ni		0,7	
Cu			0,71
Zn			0,90
Pb			
Fe	0,91	0,93	0,9
Вклад факторов, %	30, 1	19,2	15,8

Из болотных торфяных почв в речные воды интенсивно идет поступление P, Sr, Ba, Fe, Mn. В восстановительной среде с кислыми, очень слабоминерализованными водами, богатыми органическими веществами, эти элементы являются более подвижными.

Способность болотных мхов обогащаться подвижными соединениями Fe и Mn из болотных вод обуславливает высокую концентрацию Fe в верхнем слое болотных почв и их высокое содержание в поверхностных водах, определяя геохимическую обстановку в целом.

Исходная бедность макро- и микроэлементов легких по гранулометрическому составу почвообразующих пород Пурской низменности, сильное разрушение их минеральной основы подзолообразованием, гумидный климат и ультрапресные атмосферные осадки определяют малую подвижность химических элементов в почвах и, соответственно, их малую концентрацию в водах. Как видно из табл. 2, в графе первого фактора нагрузке подвержены только 7 исходных аргументов (Mn, Fe, P, Ba, Sr, Ti, Zr) и их факторный вес составил более 0,7 связи. На трехмерном графике отображения факторных нагрузок (рис. 3) четко выявлена рассеянность остальных аргументов, отсюда исключается роль выделения их в активные аргументы и возможного формирования дополнительного фактора. В данном анализе их значимость свелась к нулю.

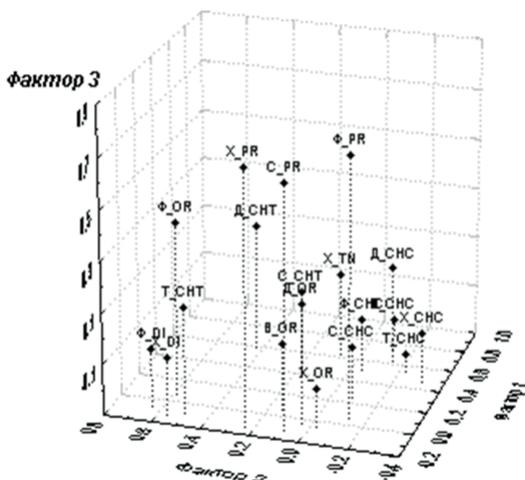


Рис. 3. График рассеянности аргументов (химических элементов) на этапе выделения главных факторов

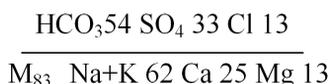
Фактор № 2 объединяет биогенные элементы (соединения азота и фосфора), его можно интерпретировать как жизнедеятельность организмов. Известно, что в ходе процесса продуцирования органических веществ живые организмы активно поглощают азот нитратный и фосфор, растворенные в речных водах. Некоторые же соединения, такие как азот аммонийный, поступают в водоток в процессе отмирания живых организмов, а также распада продуктов их жизнедеятельности. Из всей выборки на данный фактор приходится 19,2%.

Разложившиеся и в разной мере гумифицированные остатки растительных и животных организмов в значительной степени определяют содержание и подвижность макро- и микроэлементов в почвах. В гумусовом горизонте минеральных почв более 50% запаса микроэлементов удерживается органическим веществом, отсюда и следует разделение биогенного и почвенного факторов.

Взаимодействия между органическим веществом и микроэлементами весьма разнообразны: ионный обмен, сорбция, хелатообразование, коагуляция и пептизация. Благодаря наличию у гуминовых кислот большого числа функциональных групп, имеющих сродство с ионами металлов, многие микроэlementы-катионы образуют с ними комплексные соединения. При взаимодействии органических веществ с микроэлементами образуются как нерастворимые, так и водорастворимые соединения. Комплексы «микроэлемент-фульвокислота» и «микроэлемент-аминокислота» наиболее мобильны в почвах и доступны растениям и биоте. Менее подвижны и доступны им соединения микроэлементов с гуминовыми кислотами. Поэтому дерново-подзолистые, болотные почвы тайги с фульватным типом гумуса и высоким содержанием простых органических соединений слабо удерживают микроэлементы, которые легко выносятся в поверхностные воды. Вследствие этого поверхностные природные воды обогащены органоминеральными соединениями микроэлементов. Наиболее прочные комплексы с гуминовыми кислотами при pH среды 5-7 образуют Zn, Cu, Ni, Pb, Cd. Некоторые комплексы Mn, Co, Ni с гуминовыми кислотами отчасти растворимы, комплексы же Cu, Fe и Cг не растворимы в воде. Данные элементы

не вошли в факторную выборку в связи с их дисперсионной рассредоточенностью. Содержание аммония и оксидов азота обеспечило высокий процент от выборки, таким образом, с уверенностью можно утверждать, что органические вещества в полной мере влияют на формирование химического состава поверхностных вод северной тайги. Значительный факторный вес Al, Fe, Mn лишь подтверждает стабильную восстановительную геохимическую обстановку ландшафта.

Максимальная ученная дисперсия фактора № 2 характеризуется содержанием главных ионов. Данный фактор определяется поступлением ионов из горных пород, на которых происходит формирование водосбора, и зависит от ландшафтных характеристик. Обобщенная формула Курлова для исследуемых водных объектов представлена ниже:



Поступление ионов Cu, Mn и Zn также определяется влиянием горных пород. Породы на территории водосбора отличаются преобладанием в поглощенном состоянии наиболее «сильных» ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ . Источниками железа, соединениями которого богаты породы территории, являются минералы — глауконит, пирит, сидерит. Кроме ионов Fe, Al, Mn, горные породы насыщают природные воды микроэлементами.

**Заключение.** Таким образом, химический состав поверхностных вод исследуемой территории формируется под влиянием почвенных, органоминеральных и геологических условий северо-таежного ландшафта. Промывной режим территории и легкий гранулометрический состав почв обеспечивает активную миграцию элементов, таких как P, Ba, P, Sr, Ti, Zr в поверхностные воды исследуемой территории. Содержание Zn, Co, Ni, Pb, Al а также  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  в водах связано с присутствием в большом количестве органического вещества. Химический состав горных пород территории (известняки, мергели, доломиты) определили малую минерализацию и гидрокарбонатный состав вод. Выделение трех главных факторов (табл. 2) вызвало некоторую сложность. Содержание Mn, Fe оказалось повсеместным во всех компонентах с высокой корреляционной связью, что несвойственно для факторного анализа. С учетом окислительно-восстановительной обстановки северо-таежного ландшафта данный факт не следует считать ошибочным: в данном ландшафте марганец и железо содержатся в большом количестве и геохимически активны. Повсеместное присутствие этих элементов обусловлено их высоким содержанием в горных породах (сидерит, глауконит, пирит), а также способностью образовать различные химические соединения. Исходя из результатов проведенного анализа, избыток влаги в тайге способствует формированию бедных микроэлементами подзолистых и болотных почв, растительный опад, в свою очередь, участвует в формировании кислотно-щелочного режима территории, при котором элементы Fe и Mn приобретают геохимическую активность. Макро- и микроэлементы вместе с поверхностным стоком мигрируют с повышенных геоморфологических уровней и элементов рельефа в пониженные. Отсюда следует, что пресные воды бассейна Пура, обогащенные Fe, Mn и органическим веществом, формированием своего химического состава обязаны ландшафтно-геохимическим особенностям северной тайги Западной Сибири.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / Под ред. С.М. Новикова. СПб.: ВВМ. 2009. 536 с.
2. Kremleva, T.A., Moiseenko, T.I., Khoroshavin, V.Yu., Schavnnin, A.A. Geochemical features of natural waters of West Siberia: microelement composition // Tyumen State University Herald. 2012. № 12. Pp. 71-80.
3. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
4. Хренов В.Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства, геохимия. Новосибирск: Наука, 2011. 211 с.
5. Moiseenko, T.I., Gashkina, N.A., Dinu, M.I., Kremleva, T.A., Khoroshavin, V.Yu. Aquatic Geochemistry of Small Lakes: Effects of Environment Changes // Geochemistry International. 2013. Vol. 51. № 13. Pp. 1031-1148.
6. Антипов А.Н. Сущность ландшафтно-гидрологического анализа // Ландшафтно-гидрологический анализ территории. Новосибирск: Наука, 1992. С. 5-18.
7. Корытный Л.М. Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2001. 163 с.
8. Лезин В.А. Реки Ямало-Ненецкого автономного округа. Справ. пособие. Тюмень: Изд-во Вектор Бук, 2000. 142 с.
9. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа / Под ред. С.И. Ларина. Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. 303 с.
10. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Государственный водный кадастр. Т. 1. Ч. 1. Реки и каналы. Вып. 10, 11. Бассейны Оби (без Иртыша), Надыма, Пура, Таза в 1995 г. Омск: ОТУГМОС, 1997. 200 с.
11. Ястребов А.А., Иванов Ю.К. Региональная динамика пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Новосибирск, 2008. 57 с.
12. Гидрогеология СССР. Т. XVI, Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области) / Под ред. Ефремова А.И. М.: Недра, 1970. 432 с.
13. Уварова В.И. Современное состояние уровня загрязненности вод и грунтов Обь Иртышского бассейна // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ, 2000. Вып. 305. С. 23-33.
14. Корзун В.А. Химический состав снежного покрова. М.: ГКНТ СССР, 1989.
15. Славутский Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента. Учебное пособие. Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2006. 200 с.

## REFERENCES

1. *Gidrologiia zabolochennykh territorii zony mnogoletnei merzloty Zapadnoi Sibiri* [Hydrology of peatlands in the Western Siberia permafrost zone] / Ed. by S.M. Novikov. St-Peterburg, 2009. 536 p. (in Russian).
2. Kremleva, T.A., Moiseenko, T.I., Khoroshavin, V.Yu., Schavnnin, A.A. Geochemical features of natural waters of West Siberia: microelement composition. *Tyumen State University Herald*. 2012. № 12. Pp. 71-80.
3. Syso, A.I. *Zakonomernosti raspredeleniia khimicheskikh elementov v pochvo-obrazuiushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoi Sibiri* [Regularities of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soil of Western Siberia]. Novosibirsk, 2007. 277 p. (in Russian).
4. Khrenov, V.Ya. *Pochvy kriolitozony Zapadnoi Sibiri: morfologiia, fiziko-khimicheskie svoistva, geokhimiia* [Soil of the Western Siberian permafrost zone: morphology, physical and chemistry conditions, geochemistry], Novosibirsk, 2011. 211 p. (in Russian).
5. Moiseenko, T.I., Gashkina, N.A., Dinu, M.I., Kremleva, T.A., Khoroshavin, V.Yu. Aquatic geochemistry of small lakes: effects of environment changes. *Geochemistry International*. 2013. Vol. 51. № 13. Pp. 1031-1148.

6. Antipov, A.N. The essence of the landscape-hydrological analysis / In: *Landschaftno-gidrologicheskii analiz territorii* [Landscape-hydrological analysis of territory]. Novosibirsk, 1992. Pp. 5-18. (in Russian).

7. Korytny, L.M. *Basseinovaia kontseptsia v prirodopol'zovanii* [Basin concept in environmental management]. Irkutsk, 2001. 163 p. (in Russian).

8. Lezin, V.A. *Reki Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. Sprav. posobie* [Rivers of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. A handbook]. Tyumen, 2000. 142 p. (in Russian).

9. *Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Atlas of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug] / Ed. by S.I. Larin. Omsk, 2004. 303 p. (in Russian).

10. *Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. T. 1. Ch. 1. Reki i kanaly. Vyp. 10, 11. Basseiny Obi (bez Irtysha), Nadyma, Pura, Taza v 1995 g.* [Annual data about mode and resources of surface water. State water cadaster. Vol. 1, Part 1 Rivers & Canals. Issue 10, 11. Water basins of the Ob (without Irtysh), Nadym, Pur, and Taz rivers in 1995]. Omsk, 1997. 200 p. (in Russian).

11. Yastrebov, A.A., Ivanov, Yu.K. *Regional'naia dinamika presnykh podzemnykh vod Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Regional dynamics of fresh surface water of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. Novosibirsk, 2008. 57 p. (in Russian).

12. *Gidrogeologiya SSSR. T. XVI, Zapadno-Sibirskaya ravnina (Tiumenskaia, Omskaia, Novosibirskaya i Tomskaya oblasti)* [Hydrogeology of the USSR. Issue XVI. Western Siberian plain (Tyumen, Omsk, Novosibirsk, and Tomsk regions)] / Ed. by A.I. Efremov. Moscow, 1970. 432 p. (in Russian).

13. Uvarova, V.I. The modern state of water and soil pollution in the Ob-Irtysh water basin / In: *Sb. nauchn. tr. GosNIORKh — Collection of proceedings of the State Institute of fish industry*. 2000. Iss. 305. Pp. 23-33. (in Russian).

14. Korzun, V.A. *Khimicheskii sostav snezhnogo pokrova* [Chemical composition of snow]. Moscow, 1989. (in Russian).

15. Slavutskiy L.A. *Osnovy registratsii dannykh i planirovaniia eksperimenta. Uchebnoe posobie* [Basics of data registration and design of experiment]. Cheboksary, 2006. 200 p. (in Russian).

#### Авторы публикации

**Хорошавин Виталий Юрьевич** — директор Института наук о Земле, старший научный сотрудник лаборатории качества вод, устойчивости водных экосистем и эко-токсикологии Тюменского государственного университета, кандидат географических наук, доцент

**Ефименко Мария Георгиевна** — младший научный сотрудник кафедры физической географии и экологии Института наук о Земле Тюменского государственного университета

#### Authors of the publication

**Vitaliy Yu. Khoroshavin** — Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Head of Educational Institute of Geoscience, Scientific Researcher, Laboratory of Water Quality, Tyumen State University

**Maria G. Efimenko** — Scientific Researcher, Department of Physical Geography and Ecology, Institute of Earth Sciences, Tyumen State University