

УДК 551.4; 556.5

## **ВЛИЯНИЕ ОРОГРАФИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА СТОК РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ РАВНИННЫХ И ГОРНЫХ РЕК МИРА**

**Денмухаметов Р. Р.**

*ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия (420008, Казань, ул. Кремлевская, 18), e-mail: [denmukh@mail.ru](mailto:denmukh@mail.ru)*

**В статье рассмотрено влияние рельефа на сток растворенных веществ равнинных и горных рек мира. На равнинах сток растворенных веществ возрастает при переходе от низменностей и возвышенностей к равнинным рекам с истоком в горах. Установлено, что в среднем горные реки выносят растворенного материала в 1,6 раз больше, чем равнинные. Минимальные значения стока растворенных веществ приурочены к низменностям. В горах максимумы стока растворенных веществ приурочены к высокогорным речным бассейнам. Для гор характерен более пестрый литологический состав горных пород и высокая интенсивность водообмена. С увеличением высоты водосбора слабоустойчивые к химическому разложению осадочные карбонатные и сульфатные породы подвержены денудации в большей степени, чем кристаллические и осадочные терригенные породы. Более интенсивному химическому разрушению гор также способствуют трещиноватость, тектонический режим.**

**Ключевые слова:** река, речной бассейн, сток растворенных веществ, рельеф, равнины, горы, химическая денудация.

## **THE IMPACT OF THE OROGRAPHICAL FACTOR ON THE DRAIN OF THE DISSOLVED SUBSTANCES OF THE PLAIN AND MOUNTAIN RIVERS OF THE WORLD**

**Denmukhametov R. R.**

*Kazan Federal University, Kazan, Russia (420008, Kazan, Kremlevskaya street, 18), e-mail: [denmukh@mail.ru](mailto:denmukh@mail.ru)*

**In article the impact of a relief on a drain of dissolved substances of the plain and mountain rivers of the world are considered. On plains the drain of the dissolved substances increases at a re-course from lowlands and heights to the flat rivers with a source in mountains. In mountains of the maximum values of a drain of the dissolved substances are dated for high-mountainous river basins. It is established that, on average, mountain rivers carried dissolved material in 1.6 times more than plain rivers. The minimum values of a drain of the dissolved substances are dated for lowlands. In mountains maxima of a drain of the dissolved substances are confined to the high-mountain river basins. For the mountains has a more variegated lithological composition of rocks and high intensity of water exchange. With increasing altitude catchment weakly stable degradability sedimentary carbonate and sulfate rocks exposed denudation more than crystal and sedimentary terrigenous rocks. More intensive chemical destruction of the mountains also contribute to fractures, tectonic conditions.**

**Key words:** the river, river basin, a drain of the dissolved substances, a relief, plains, mountains, chemical denudation.

### **Введение**

Изучение выноса растворенных веществ различного происхождения из речных бассейнов является общегеографической и геоэкологической задачей. По стоку растворенных веществ можно судить о денудационных процессах в бассейнах равнинных и горных рек, экологическом состоянии водосборов, геохимических аспектах миграции макрокомпонентов и т.д. Пространственная изменчивость, временная динамика, генетический анализ невозможны без определения степени влияния природных и антропогенных факторов на сток растворенных веществ рек равнинных и горных территорий.

Попытки решить эти вопросы на глобальном уровне предпринимались еще с позапрошлого века на очень ограниченном фактическом материале [5, 7, 8, 9 и др.]. Появление новых данных по стоку растворенных веществ, новых методических и технических подходов к их обработке определили необходимость нового обобщения по этой тематике.

### **Исходный материал и методы обработки**

Полученные результаты базируются на систематизации большого объема фактического материала по химическому составу вод с последующим созданием электронной базы исходных данных, превышающих 1000 пунктов государственных и ведомственных режимных наблюдений за ионным стоком рек. По всей видимости, это один из самых больших массивов данных, с разной степенью детальности охватывающий территорию почти всей суши Земли. Он позволил заново оценить общую величину стока растворенного материала рек мира с отдельных частей света и континентов, значительно уточнен его покомпонентный состав [1].

Все источники информации можно объединить в три группы, отличающиеся полнотой данных – официальные печатные издания (Гидрологические ежегодники, Гидрохимические бюллетени и т.д.); интернет-ресурсы; литературные данные.

Для территории бывшего СССР были использованы данные по химическому составу и водному стоку рек, собранные сетью Гидрометеослужбы СССР начиная с 1936 г. и опубликованные в статистических сборниках «Ресурсы поверхностных вод СССР», «Основные гидрологические характеристики», данные, приводимые в официальных изданиях, как правило, отличаются полнотой приводимой информации и достаточной надежностью.

Материал по Северной Америке был собран на основе данных Геологической службы этой страны (Geologic Survey of USA). Под эгидой организации ЮНЕСКО Канадским Гидрологическим институтом создан международный банк данных в сети Internet, где аккумулируется информация гидрологического и гидрохимического характера почти по 450 пунктам наблюдения на реках, озерах и водохранилищах мира. В работе использованы данные по 158 створам.

Остальные пункты наблюдений (менее 10 % всего объема исходных данных) собраны из разных литературных источников: монографий, статей из таких центральных периодических изданий, как “Гидрохимические материалы”, “Водные ресурсы” и др.

С использованием программы Microsoft Excel создан электронный банк данных, который содержит следующие показатели: название реки и пункта наблюдения; принадлежность характеризуемого речного бассейна к определенной области стока по

отношению к океанам и частям света; площадь речного бассейна; период наблюдения за ионным стоком реки; модуль жидкого стока и расход воды реки в пункте наблюдения; характеристика рельефа речного бассейна; состав пород, слагающих речной бассейн; принадлежность к природной зоне для равнинных рек и к высотному поясу – для горных; степень антропогенного изменения ландшафта; химический состав речных вод отдельно по основным ионам; величина общей минерализации и расход растворенных веществ; показатель стока растворенных веществ.

Принадлежность бассейна к определенной области стока и частям света определялась по картам национальных атласов, физико-географических атласов (Комплексный..., 1964; Атлас США, 1966; Физико-географический..., 2003).

Географическое распределение пунктов наблюдений отличается неравномерностью: лучше охарактеризованы Европа, Азия и Северная Америка. В гидрохимическом отношении наиболее изучены территории бывшего СССР и США. Достаточно большой материал собран по странам Западной Европы. По остальным частям света не было возможности для ознакомления со всеми материалами наблюдений вследствие их малодоступности, хотя и есть сведения об изучении в них стока растворенных веществ. К этим территориям относятся Центральная и Южная Америка, Африка, Зарубежная Азия.

Анализ влияния орографического фактора на сток растворенных рек в глобальном масштабе проведен с использованием исходного массива данных по 1120 пунктам наблюдения на всех континентах, кроме Антарктиды, из них 762 – для равнинных рек. Основная часть стока РВ приходится на главные ионы, кроме того, преимущественно ими же представлена денудационная часть растворенного материала. Поэтому в исследовании использована ионная составляющая стока растворенных веществ.

Для оценки степени влияния орографического фактора по характеру рельефа выделены низменности (средняя высота водосбора менее 200 м), возвышенности, нерасчлененные равнины, бассейны равнинных рек с истоками в горах, а также горы низкие, средние и высокие (соответственно, для математико-статистической обработки речным бассейнам присуждался балл от 1 до 6). Разделение велось по средневзвешенной высоте бассейнов, если она была известна из первоисточников. Кроме того, орографическая принадлежность бассейнов определялась по гипсометрическим картам. В общем, принималось, что бассейн является равнинным, если он полностью расположен на равнине, и горным, если равнины занимают не более 25 % площади бассейна.

### **Результаты исследований**

Результаты математико-статистической обработки показали, что на равнинах сток растворенных веществ наиболее сильно возрастает при переходе от низменностей и

возвышенностей к равнинным рекам с истоком в горах. В горных условиях максимальные значения стока растворенных веществ приурочены к речным бассейнам, преимущественно расположенным в высоких горных системах. По сравнению с низменностями, интенсивность химического выноса растворенного материала в высокогорьях в 2–2,5 раза интенсивнее, чем на низменностях равнин (табл. 1).

Таблица 1

Средние величины стока РВ на разных типах рельефа (Д, т/км<sup>2</sup>·год)

| Тип рельефа   | Географический пояс |                |             | В целом |
|---------------|---------------------|----------------|-------------|---------|
|               | Умеренный           | Субтропический | Тропический |         |
| Низменности   | 39,0                | 32,5           | 38,6        | 37,3    |
| Возвышенности | 51,3                | 39,1           | 60,5        | 50,1    |
| Исток в горах | 99,0                | 57,9           | 64,0        | 62,3    |
| Горы низкие   | 82,0                | 85,4           | 105,0       | 86,0    |
| Горы средние  | 88,5                | 73,0           | 70,0        | 91,9    |
| Горы высокие  | 124,5               | 91,9           | 97,3        | 99,8    |

Более активное химическое разрушение гор по сравнению с равнинными территориями впервые на количественном материале было установлено [5] и [7]. По [7] соотношение в ионном стоке с низменностей, возвышенностей, предгорий и гор составляет 1:2,8:32,1. Позднее [8] попытался уточнить эти цифры и, по его данным, рассматриваемое соотношение равно для областей с холодным климатом 1:2:7:16, а для областей с теплым климатом – 1:2,3:5,5:9,5. [9], опираясь на данные по стоку растворенных веществ, пришли к выводу о его 5–10 кратном усилении в горах по сравнению с низменным рельефом.

По данным [3], в умеренном поясе даже высокие горы подвергаются химической денудации лишь в 2–2,5 раза интенсивнее, чем низменности. В среднем соотношение равнин и гор по химической денудации определяется как 1:1,6.

По всей видимости, ведущими факторами, обуславливающими такое соотношение интенсивности химического разрушения равнинных и горных областей, являются более пестрый литологический состав последних и интенсивность водообмена, контролируемая величиной жидкого стока.

По бассейнам с относительно однородным вещественным составом дренируемых толщ различия в интенсивности выноса растворенных на разных типах рельефа не очень резки, если рассматривать отдельно водосборы равнинных и горных рек. Однако внутри одного типа рельефа – равнинного или горного – речные бассейны, сложенные осадочными породами, содержащими легко растворимые карбонатные или хемо- и органогенные

отложения, сильнее различаются по средним модулям стока растворенных веществ, чем терригенные или кристаллические (табл. 2).

Таблица 2

Средние модули стока РВ (Д, т/км<sup>2</sup>·год) на разных типах рельефа и горных пород

| Группы пород                                      | Низ-<br>менно-<br>сти | Возвы-<br>шен-<br>ности | Реки с<br>исто-<br>ком в<br>горах | Горы<br>низкие | Горы<br>сред-<br>ние | Горы<br>высокие |
|---|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------------|-----------------|
| Кристаллические                                   | 11,0<br>(22)          | 14,3<br>(36)            | 11,0<br>(20)                      | 12,7<br>(24)   | 19,1<br>(15)         | -               |
| Осадочные смешанные<br>карбонатно-<br>терригенные | 44,0<br>(144)         | 48,9<br>(86)            | 60,6<br>(84)                      | 71,9<br>(66)   | 76,2<br>(39)         | 74,2<br>(24)    |
| Осадочные<br>терригенные                          | 16,9<br>(66)          | 12,5<br>(22)            | 18,7<br>(27)                      | 22,1<br>(11)   | 33,7<br>(12)         | -               |
| Осадочные хемо - и<br>органогенные                | 79,2<br>(36)          | 109,2<br>(57)           | 127,4<br>(72)                     | 113,3<br>(48)  | 177,5<br>(42)        | 139,4<br>(23)   |
| Смешанные (осадочно-<br>кристаллические)          | 27,8<br>(11)          | 22,4<br>(28)            | 26,3<br>(47)                      | 32,8<br>(24)   | 36,7<br>(28)         | 58,2<br>(6)     |

Примечание: в скобках – количество бассейнов.

С увеличением высоты водосбора, в целом, в пределах равнин или гор слабоустойчивые к химическому разложению породы подвержены денудации в большей степени, чем кристаллические и осадочные терригенные. При этом сток растворенных веществ как на кристаллических, так и на осадочных отложениях при переходе от низменных равнин к высоким горным массивам увеличивается в среднем в 1,7–2,3 раза.

Несомненно, жидкий сток является важным фактором, влияющим на увеличение стока растворенных веществ с увеличением высоты рельефа. Чем больше высота рельефа, особенно при переходе от равнин к горным областям, тем больше величина жидкого стока (табл. 3). В целом, чем больше жидкий сток, тем меньше минерализация рек, так как величина водного стока оказывает разбавляющее действие, и концентрация ионов в единице объема воды уменьшается.

Таблица 3

Изменение минерализации речных вод и интенсивности водообмена с высотой водосборов

| Интервалы высот,<br>м | Минерализация,<br>мг/л | Модуль стока воды,<br>л/с·км <sup>2</sup> |
|-----------------------|------------------------|---|
| <100                  | 246                    | 6,1                                       |
| 101-200               | 341                    | 4,3                                       |
| 201-300               | 390                    | 4,1                                       |

|           |     |      |
|-----------|-----|------|
| 301-500   | 442 | 4,9  |
| 501-700   | 345 | 10,2 |
| 701-1000  | 250 | 13,4 |
| 1001-1500 | 213 | 16,4 |
| 1501-2000 | 200 | 19,9 |
| 2001-2500 | 198 | 14,1 |
| >2501     | 190 | 16,9 |

Если проследить за изменением минерализации речных вод от более высоких отметок рельефа к более низким, то видно, что она увеличивается. Причина этого – обогащение воды растворенными веществами при движении от водораздельных частей вниз по склонам, что обусловлено длительным временным контактом речных вод с горной породой. При этом может измениться гидрохимический тип вод, снизиться содержание преобладающих в ультрапресных водах высокогорий ионов кальция и гидрокарбонат-ионов.

[4] и [6] выявили закономерность увеличения минерализации подземных вод зоны активного водообмена по мере уменьшения абсолютных отметок и, соответственно, интенсивности водообмена для Саяно-Алтайской горной области, гранитных массивов Сьерра-Невады и других территорий. Чем более длительный путь проходит вода по горным породам, тем выше ее минерализация. Так, в Забайкалье, наименее минерализованные воды гидрокарбонатного кальциевого состава распространены в водораздельных наиболее высоко поднятых частях гор, ниже располагается промежуточная зона пресных вод среднегорных структур, еще ниже – гидрокарбонатно-сульфатные воды повышенной минерализации низкогорья и предгорных ландшафтов. Эта закономерность носит не локальный, а общегеографический характер [6]. Однако, несмотря на то, что минерализация увеличивается, уменьшается жидкий сток, а это приводит к снижению модулей стока растворенных веществ рек.

Зависимость модулей стока растворенных веществ от высоты водосбора неоднозначна (табл. 3). Незначительные модули стока растворенных веществ наблюдаются на низменностях, имеющих высоты до 200 м. Это хорошо согласуется с широким распространением в пределах низменных территорий малорастворимых терригенных отложений – морских, аллювиальных, флювиогляциальных песков и супесей, глин и т.д. (Прикаспийская, Западно-Сибирская низменности и др.). В то же время на возвышенностях в интервалах средней высоты от 201 до 300 м развито наибольшее количество бассейнов, сложенных легко растворимыми сульфатными и карбонатными отложениями, и поэтому сток растворенных веществ в этом интервале высот несколько выше (Вятские Увалы, Бугульминско-Белебеевская возвышенность и др.).

В дальнейшем, при переходе к средним высотам водосборов, равным 301–500 м, наблюдается уменьшение модулей стока растворенных веществ, что, по всей видимости, связано с увеличением доли устойчивых к химической денудации осадочных терригенных пород, наиболее широко распространенных у подножий склонов гор.

Начиная с высот 501–700 м, в горах идет почти равномерное увеличение стока растворенных веществ. При этом в среднегорьях модули стока растворенных веществ часто достигают максимальных значений, что определяется максимальными величинами жидкого стока.

Среди других факторов, обуславливающих более интенсивное химическое разрушение гор, – их большая трещиноватость и сложные условия залегания горных пород. Так, карстовые процессы, по данным [2], наиболее активно проявляются на участках земной коры с положительными тектоническими движениями, сопровождающимися трещинообразованием, где карстующиеся породы находятся в зоне активного водообмена.

На расчлененность рельефа, мощность зоны активного водообмена влияет тектонический режим территорий. В условиях спокойного тектонического режима платформ мощность зоны активного дренирования редко превышает 150–200 м, а в горных складчатых областях достигает тысячи метров и более. Последнее более благоприятно для развития карстовых процессов, образования вертикальных полостей, где воды длительное время контактируют с горной породой и насыщаются ионами.

### **Заключение**

Изучение влияния орографического на величину выноса растворенного материала реками с водосборов позволяет определить интенсивность химической денудации на равнинах и в горах. Рельеф есть отражение тектонических процессов, фундамент ландшафта территорий. Наряду с геологическими условиями, он во многом определяет условия протекания химических процессов в бассейнах рек – интенсивность водообмена, карстообразование, температурные условия. Наиболее благоприятные условия для протекания химических процессов и выноса растворенного материала имеются в горах, интенсивность химической денудации которых в среднем в 1,6 раза выше, чем равнин.

### **Список литературы**

1. Денмухаметов Р. Р. Глобальный речной сток растворенных веществ. – Казань: РИЦ «Школа», 2008. – 142 с.
2. Максимович Н. Г. Особенности эволюции земной коры в районах развития карстующихся карбонатных пород // Литология и нефтегазоносность карбонатных отложений: Материалы

Всерос. литол. совещ. и Всерос. симпоз. по ископаемым кораллам и рифам. – Сыктывкар, 2001. – С.44-45.

3. Мозжерин В. И. Геоморфологический анализ твердого речного стока гумидных равнин умеренного пояса: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. – СПб: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 1994. – 32 с.

4. Степанов В. М. К проблеме формирования химического состава подземных вод Забайкалья // Вопр. гидрогеол. и инж. геол. Вост. Сибири. – Иркутск, 1974. – С. 37-42.

5. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. – 2-е изд. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т.1. – 212 с.

6. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

7. Corbel J. L'erosion terrestre, etude quantitative (Methodes. Techniques.Resultats) // Ann.geogr. – 1964. – V.73. – N 398. – P. 385-412.

8. Pulina M. Denudacja chemisna na obszerach krasu weglawege // Pr. geogr. Inst. geogr. PAN. – 1974. – N 105. – 159 s.

9. Walling D. E., Webb B. W. Patterns of sediment yield // Background to paleohydrology. – Chichester & et.: John Wiley & Sons. – 1983. – P. 69-100.

#### **Рецензенты:**

Сироткин Вячеслав Владимирович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии и картографии Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань.

Рубцов Владимир Анатольевич, доктор географических наук, профессор, заведующий отделением географии и туризма Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань.