

УДК 574.5(571.63)

РОЛЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ СООБЩЕСТВ ВОДОРΟΣЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ КОМАРОВКИ, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ)

© 2013 г. В. В. Богатов*, А. С. Федоровский**, Т. В. Никулина*

*Биолого-почвенный институт ДВО РАН

690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159

e-mail: vibogotov@rambler.ru

**Дальневосточный федеральный университет

690950 Владивосток, ул. Суханова, 8

e-mail: fedor@geo.dvfu.ru

Поступила в редакцию 23.08.2012 г.

Показано, что в р. Комаровке, протекающей в зоне хвойно-широколиственных лесов на юго-западе горной страны Сихотэ-Алинь (Приморский край, Россия), основное формирование водного стока и многовидовых фитобентосных сообществ происходит в пределах 60–70 км² водосборной площади. Модуль летне-осеннего стока и таксономический состав водорослей на данном участке реки тесно связаны с площадью водосбора. При дальнейшем продвижении вниз по течению относительная водность реки снижается в связи с уменьшением количества малых рек, а изменения таксономического разнообразия водорослей зависят от изменений скоростного и температурного режимов воды.

Ключевые слова: река, водоросли, таксономическое разнообразие, площадь водосбора, порядок реки, уклон тальвега русла, модуль стока.

DOI: 10.7868/S0367059713060036

Оценка речных экосистем в контексте особенностей окружающего ландшафта — относительно новое и быстро развивающееся направление в речной экологии. Хотя взаимосвязь между ландшафтом, физико-химическими и биологическими особенностями рек давно признавалась гидробиологами, развитие концептуальных подходов и инструментов для оценки значимости таких взаимосвязей состоялось лишь в последние два–три десятилетия (Hughes et al., 2006). Например, были предложены известные модели речного континуума (Vannote et al., 1980), дисконтинуума (Perry, Schaeffer, 1987; Townsend, 1989), четырехмерной структуры речных экосистем (Ward, 1989), прибрежного наземного влияния (*riparian influence*) (Cummins et al., 1989; Gregory et al., 1991; Cummins, 2002) и др.

В.В. Богатов и Т.В. Никулина (2010) для рек горно-лесной зоны юга Дальнего Востока установили количественную связь видового разнообразия сообществ водорослей (N_{alg}) с площадью водосбора (S), которую они описали уравнением степенной функции: $N_{alg} = 92.72 S^{0.199}$; $R^2 = 0.98$. Показано, что в верховьях рек по мере возрастания водосборной площади до 80 км² заметно уве-

личивается число видов, разновидностей и форм водорослей, затем темпы увеличения таксономического богатства альгосообществ снижаются. Было выдвинуто предположение, что причины такого резкого изменения таксономического богатства следует искать в особенностях формирования климатических и ландшафтно-гидрологических условий верхних частей водосборных бассейнов.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании роли гидрологических факторов в формировании таксономического богатства сообществ водорослей в верховьях модельной горной реки Комаровки, которая берет начало на южных склонах хребта Пржевальского (юго-запад горной страны Сихотэ-Алинь) и впадает в р. Раздольная близ г. Уссурийска. Выбор р. Комаровки в качестве модельного объекта объясняется следующими обстоятельствами. Во-первых, вся верхняя часть бассейна реки входит в состав Государственного природного заповедника “Уссурийский” им. В.Л. Комарова Дальневосточного отделения РАН и не испытывает значительного антропогенного воздействия. Во-вторых, здесь накоплены уникальные материалы наблюдений

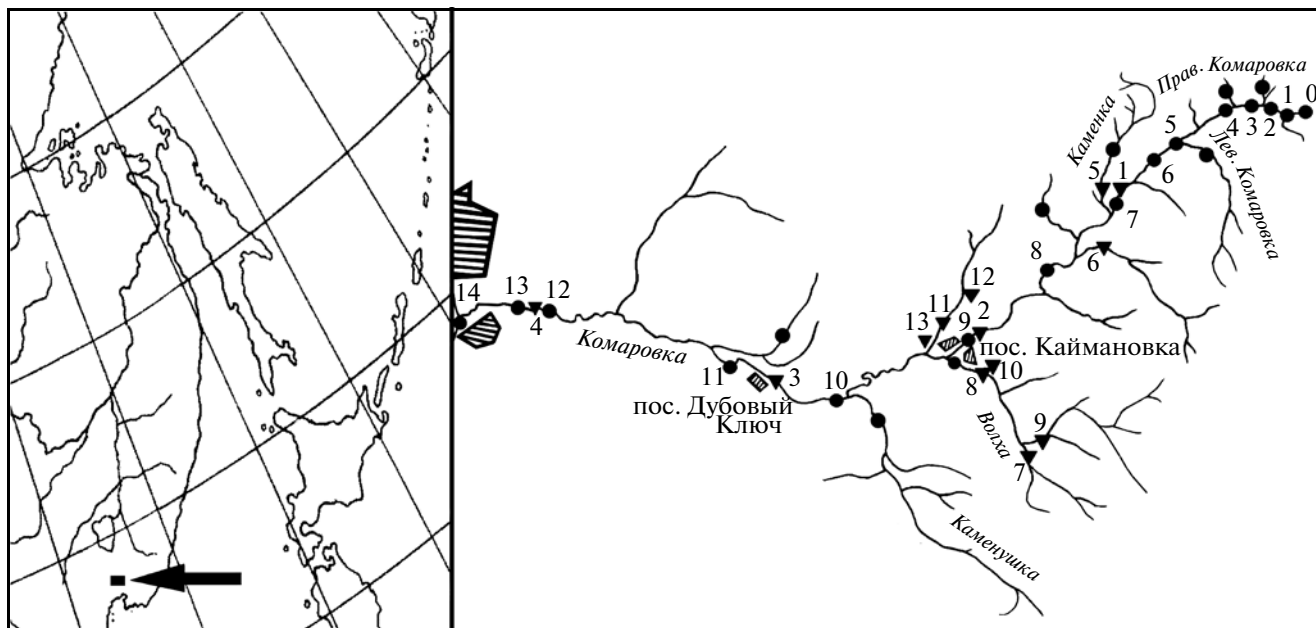


Рис. 1. Схема района исследований: точки с цифрами – постоянные альгологические станции; точки без цифр – временные альгологические станции; треугольники с цифрами – посты наблюдательной сети ПВБС.

за гидрологическим режимом территории, так как река входит в состав наблюдательной сети Приморской воднобалансовой станции (ПВБС) Приморгидромета, причем материалы наблюдений с 1957 по 1988 г. опубликованы в виде справочников и общедоступны (Материалы..., 1957–1988). В-третьих, в бассейне реки специалистами Биолого-почвенного института ДВО РАН ведутся многолетние гидробиологические мониторинговые исследования (Никулина, 2005; Богатов, Никулина, 2009, 2010; Богатов и др., 2010; и др.). По местоположению и доступности, характеристике природных условий река представляет собой идеальный полигон для изучения взаимосвязи гидрологических и гидробиологических факторов, в том числе и особенностей пространственного распределения гидробионтов.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Река Комаровка (левый приток р. Раздольной) образуется слиянием рек Правой илевой Комаровки в 7 км от истока Правой Комаровки (рис. 1). Обе реки берут начало на южных склонах хребта Пржевальского. Длина р. Комаровки от истока Правой Комаровки составляет 67 км, общее падение – 386 м, средняя высота над уровнем моря – 210 м, средний уклон – 5,8‰, площадь бассейна – 1490 км². Река имеет горный, предгорный и равнинный участки.

Исследуемая территория входит в область умеренного климата средних широт с интенсивной циклонической активностью и выраженными признаками муссонной тенденции (Хромов, 1956; Федоровский, 1985). Для региона характерны выходы ослабленных форм тропических циклонов-тайфунов, вызывающих катастрофические паводки – чаще всего во второй половине лета – начале осени. В теплый период года здесь выпадает более 80% осадков в виде дождей. Доля стока, вызванная исключительно снеготаянием, оценивается А.М. Горчаковым (1983) на уровне 18% и 7% от годового стока соответственно для горных и предгорных территорий. Весеннее половодье в нижнем течении Комаровки начинается в марте и длится до начала апреля. В горах половодье начинается в апреле и заканчивается в мае.

На водосборе р. Комаровки произрастает хвойно-широколиственная древесная, разнообразная кустарниковая и травяная растительность. Верхняя часть бассейна в пределах Уссурийского заповедника покрыта смешанными широколиственно-кедровыми и широколиственно-пихтово-еловыми лесами. Сомкнутость полога 0,8–0,9. В нижней части бассейна произрастают редкие дубовые леса, значительная часть пологих склонов распаханна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основным гидробиологическим материалом послужили многолетние сборы водорослей на

Морфометрические характеристики рек в бассейне р. Комаровки (по материалам ПВБС)

№ поста	Река	Наименование поста	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота, м абс.	Уклон тальвега, ‰	Порядок реки по Хортону
1	Комаровка	Комаровский	60.3	320	10.6	3
2	Комаровка	Центральный	157	300	7.2	4
3	Комаровка	Садовый	395	260	5.2	5
4	Комаровка	Сахарный завод	616	210	2.4	5
5	Каменка	Каменский	31.2	340	17	3
6	Комаровская падь	Егерский	24	300	17.8	3
7	Волха	Верхний	17.6	270	19.7	3
8	Волха	Нижний	69.5	300	14.8	4
9	Учхозный ключ	Дальний	36.2	320	16.8	3
10	Семеновская падь	Доковский	5.64	200	38.5	2
11	Барсуковка	Лесничий	36.8	300	20.5	3
12	Лог Медвежий	Медвежий	0.14	216	73	1
13	Ключ Студеный	Пионерский	2.24	241	52.4	1

р. Комаровке и ее притоках: Левая Комаровка, Каменка, Каменушка, Турова Падь, в нескольких ключах и в периодически пересыхаемом истоке р. Правой Комаровки (см. рис. 1). Исследования проводили в марте–июле 1984 г., октябре 1989 г., июне 1990 и 1992 гг., сентябре 1994 г., июне и сентябре 1999 г. и июле 2000, 2008 и 2011 гг. Основные работы в бассейне Комаровки осуществляли на 4 постоянных станциях р. Правой Комаровки, расположенных в 0.5, 1, 2 и 4 км от ее истока, а также на 10 станциях р. Комаровки, расположенных соответственно в 7, 9, 11.5, 16, 23.5, 31, 37, 54, 56 и 66 км от истока Правой Комаровки (см. рис. 1). Всего в бассейне Комаровки было отобрано 417 альгологических проб.

На гравийно-галечном грунте при сборе водорослей с каждого участка реки извлекали по несколько камней, которые затем помещали в кювету с небольшим количеством воды. Водорослевые обрастания счищали при помощи скальпеля и щетки с жесткой щетиной. С поверхности мягких грунтов водоросли отбирали медицинской пипеткой, из моховых обрастаний – путем отжимания моховых подушек. Сборы планктонных водорослей осуществляли с помощью планктонной сети Апштейна и батометра Рутнера. Полученные пробы фиксировали 4%-ным раствором формальдегида.

Определение водорослей из отделов Cyanoprokaryota, Euglenophyta, Dinophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Rhodophyta и Chlorophyta проводили по общепринятой методике (Голлербах, Полянский, 1951; Водоросли, 1989). Диатомовые водоросли перед просмотром прокаливали в перекиси водорода (Swift, 1967) и помещали в канадский и кедровый бальзамы. Всего было приготовлено

более тысячи постоянных препаратов диатомей. При таксономической идентификации водорослей использовали микроскопы “Amplival” и “Nikon” с увеличением до 1200 раз. Определение водорослей проведено Т.В. Никулиной.

Для анализа гидрологических условий в бассейне Комаровки использовали 13 постов наблюдений за стоком (см. рис. 1). Названия постов наблюдений и их основные морфометрические характеристики приведены в таблице. На этих постах, кроме регистрации речного стока, фиксировали атмосферные осадки и ряд других характеристик.

В качестве независимой переменной в изучении стока и других гидрологических величин в работе использована площадь водосбора, которая представляет собой участок территории, ограниченный линией, проходящей по наиболее высоким точкам водораздела и отделяющей данную реку от смежных. Площадь водосбора определяли по топографической карте масштаба 1 : 100000 (в 1 см – 1 км) и справочным материалам. Использование площади водосбора в исследовании в значительной степени было обусловлено простотой ее определения и присутствием во всех гидрологических справочниках. Особенно важна оценка площади водосбора в условиях, когда инструментальных наблюдений за стоком мало или они отсутствуют. Связь речного стока с размером площади водосбора играет роль инструмента для распространения характеристик стока на неизученные территории.

Водосборы рек могут включать водосборы притоков низшего порядка. При выделении рек различных порядков применяли иерархическую схему американского геоморфолога Р.Е. Хортон

в редакции Страллера (Хортон, 1948). В этой схеме притокораздельные неразветвленные реки имеют первый порядок. Сливаясь, две реки первого порядка образуют реку второго порядка, которая может принять любое число притоков первого порядка. Слияние двух притоков второго порядка образует реку третьего порядка и так далее. Таким образом, водосбор реки третьего порядка включает как минимум два водосбора рек второго порядка (их может быть больше, чем два), водосбор реки второго порядка — два и более водосборов рек первого порядка.

Номера порядков притоков р. Комаровки у постов наблюдений приведены в таблице. Следует отметить, что р. Правая Комаровка в нижнем течении имеет 3-й порядок, а впадающая в нее Левая Комаровка — 2-й. При слиянии этих притоков образуется р. Комаровка, которая к посту Комаровский сохраняет порядок своего правого притока, т.е. 3-й. Ниже поста в реку справа впадает приток 3-го порядка Каменка, и ниже их слияния Комаровка приобретает 4-й порядок, который сохраняется до впадения с левого берега р. Волхи. У верхнего поста р. Волха имеет 3-й порядок, затем, сливаясь с притоком 3-го порядка Учхозный Ключ, приобретает 4-й порядок, сохраняющийся у поста Нижний, расположенный недалеко от устья. После впадения в р. Комаровку притока Волхи она приобретает 5-й порядок, который не меняется вплоть до устья (см. таблицу).

Из других значимых морфометрических и гидрологических характеристик реки использовали уклон тальвега русла (т.е. наиболее пониженных участков русла), а также относительную водность, оцениваемую модулем среднегогодового стока в летне-осенний период (в это время в бассейне выпадает более 80% осадков), по опубликованным данным. При исследовании зависимости модуля среднегогодового летне-осеннего стока от размеров водосбора было принято во внимание, что для небольших рек изменение их относительной водности зависит от неравномерности выпадения атмосферных осадков, вариации суммарного испарения и гидрологических свойств компонентов ландшафтов (рельефа, растительности, почв, подстилающих горных пород, гидрогеологических условий и др.). В связи с этим водосборы, включенные в анализ, располагались в относительно однородном ландшафте и охватывали в основном те участки, где исследовался состав водорослей. Из анализа были исключены материалы постов на реках Волхе и Барсуковке: в первом случае из-за того, что водосбор р. Волхи обладает повышенной водоносностью, примерно на 20–40% выше рек аналогичного площадного диапазона, а во втором — бассейн р. Барсуковки отличается относительно слабым притоком талых вод из-за гидрогеологических условий и не совсем удачным расположением створа, что

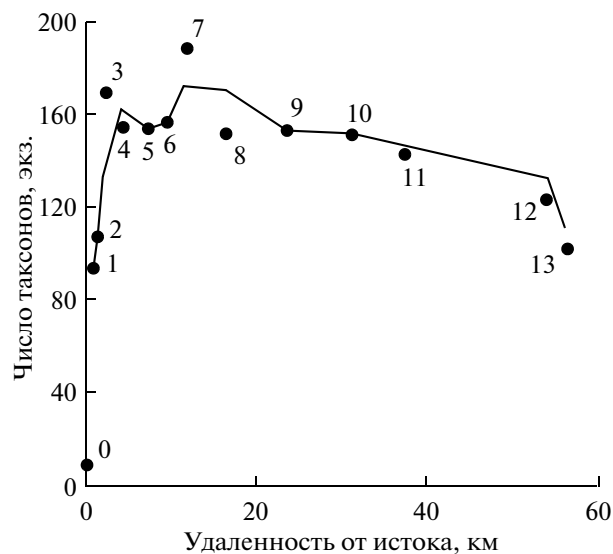


Рис. 2. Число таксонов водорослей на альгологических станциях (обозначены цифрами) в продольном профиле р. Комаровки.

определяет недоучет части стока (Федоровский, 1985).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего в пределах р. Комаровки было обнаружено 333 вида водорослей, а вместе с разновидностями и формами — 412 таксонов, из которых 82,5% составили представители отдела Bacillariophyta (Никулина, 2005; Богатов, Никулина, 2009). Из рис. 2 видно, что минимальное число таксонов (9) было отмечено на нулевой альгологической станции, представляющей собой периодически пересыхающий исток Правой Комаровки. В условиях постоянного водотока минимальное число таксонов (94) обнаружено на 1-й станции, а максимальное (189) — на 7-й станции. Между 1-й и 7-й станциями на каждый километр длины реки в среднем добавлялось почти по 9 таксонов. Однако наиболее резкое увеличение таксономического разнообразия наблюдалось в верховьях между 2-й (108 таксона) и 3-й (170 таксонов) станциями, расстояние между которыми всего 1 км. На данном отрезке возрастание количества таксонов на 1 км реки было максимальным и составило 62 таксона. Столь значительное увеличение таксономического разнообразия связано с расширением русла примерно с 0,5–1 м до 4,5 м и соответственно с резким улучшением освещенности водотока, что указывает на важную роль светового фактора в формировании альгосообществ. Площадь водосбора на этом участке изменялась соответственно от 12 до 20 км².

Затем на протяжении примерно 7 км (станции 4–6) число таксонов снижалось до 154–157,

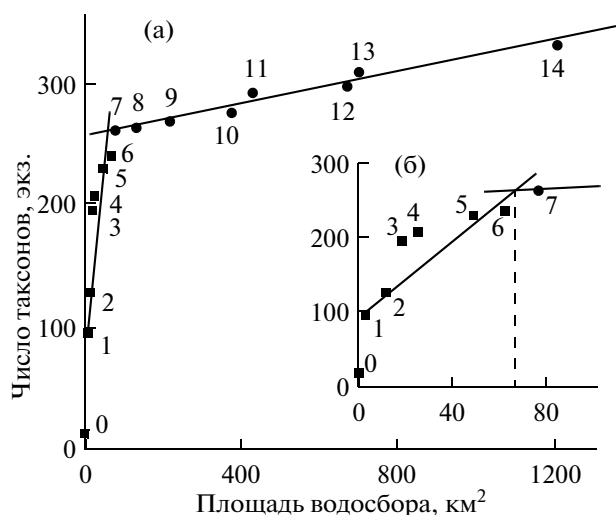


Рис. 3. Зависимость между суммарным числом таксонов водорослей и размером площади водосбора р. Комаровки (а); (б) — то же при площади водосбора до 100 км² (цифрами обозначены альгологические станции).

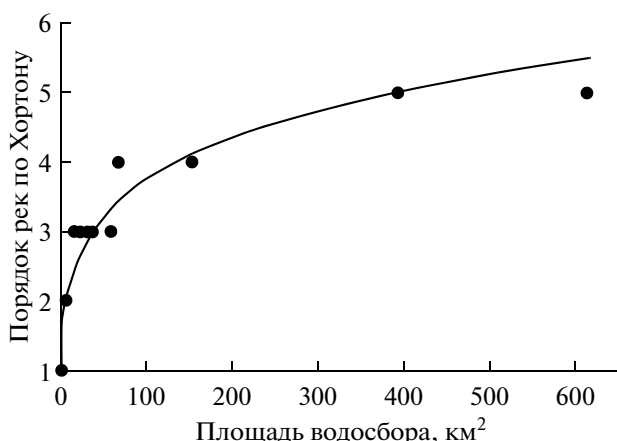


Рис. 4. Зависимость порядка речной системы в бассейне р. Комаровки от площади водосбора.

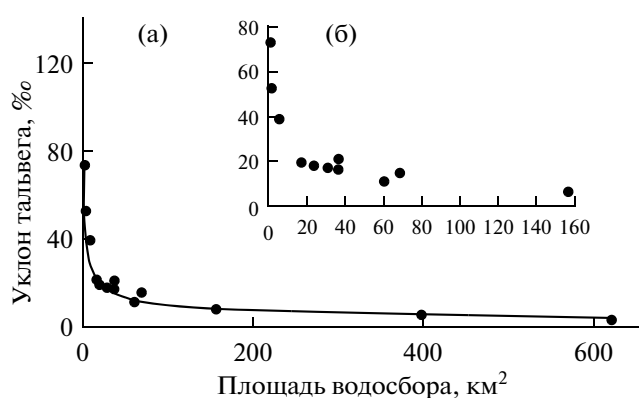


Рис. 5. Зависимость уклона тальвега рек от размера площади водосбора р. Комаровки (а); (б) — то же в более крупном масштабе.

что объясняется ухудшением освещенности реки в связи с развитием в этом поясе гор крупных широколиственных пород деревьев. При увеличении ширины русла до 10–12 м видовое разнообразие водорослевых обрастаний вновь заметно увеличивалось и в районе 7-й станции достигало максимальных значений (189 таксонов). На следующих 6 станциях (8–13-я станции) происходило снижение числа таксонов с 189 до 102, или примерно по 2 таксона на 1 км длины реки (см. рис. 2), что, очевидно, связано с изменением скорости течения и температурного режима потока при его переходе в полугорный и равнинный участки. В результате из сообщества фитобентоса выпадали реофильные таксоны, в то же время планктонное сообщество, характерное для равнинных участков рек, на данном отрезке Комаровки еще не было сформировано (Богатов, Никулина, 2009).

Если в реках юга Дальнего Востока, протекающих в горно-лесной зоне, резкое суммарное увеличение числа видов, разновидностей и форм водорослей наблюдалось по мере возрастания водосборной площади в среднем до 80 км² (Богатов, Никулина, 2010), то непосредственно в р. Комаровка заметное увеличение таксономического разнообразия наблюдалось до площади 60–70 км² (рис. 3), причем наиболее резко количество таксонов возрастало в пределах 20 км² водосборной площади (см. рис. 3б). При дальнейшем возрастании площади бассейна темпы увеличения таксономического богатства альгосообществ практически не изменялись и на графике представляли собой слабо наклоненную к оси абсцисс прямую линию (см. рис. 3а).

Из рис. 4, на котором приведен график изменения порядков рек в речной системе Комаровки с ростом площади водосбора, видно, что вначале мощность речной системы нарастает быстро, но в районе площади водосбора в 60–70 км² рост замедляется. Этот участок совпадает с точкой начала резкого замедления возрастания таксономического состава водорослей с увеличением водосборной площади. Очевидно, что подобная взаимосвязь непосредственно относится к пространственному распределению гидробионтов, разнообразие которых интенсивно растет в диапазоне рек 1-го и 2-го порядков, замедляется на реках 3-го порядка и далее на реках 4-го и 5-го порядков практически не меняется (см. рис. 3).

Следует отметить, что с увеличением размера реки заметно меняются ее морфометрические характеристики. Так, на рис. 5 показана зависимость уклона тальвега русла от размера водосбора. Видно, что уклоны тальвегов русел рек резко снижаются от 73 до 20‰ в диапазоне площадей водосборов от 0,14 до 20 км². Причем, как показано выше, именно на данном участке реки, соответствующей площади водосбора 10–20 км², происхо-

дит наиболее быстрое нарастание таксономического разнообразия водорослей. В дальнейшем спад уклона тальвегов р. Комаровки замедляется (см. рис. 5).

Оценка изменения среднегодовых модулей летне-осеннего стока р. Комаровки с увеличением площади водосбора также показала (рис. 6), что от истока до площади примерно 20 км² значения модулей стока нарастают наиболее быстро, затем рост сокращается, а примерно с площади 70 км² их значения начинают заметно уменьшаться. Причины снижения модулей стока на водосборах свыше 70 км² различны. Во-первых, с увеличением размера реки снижается ее относительная дренирующая способность и как следствие относительная водоносность, при этом максимальная дренирующая способность в этом районе свойственна рекам с площадью водосбора до 10 км² (Федоровский, 1985). Во-вторых, из-за снижения абсолютных высот бассейнов и выхода рек в предгорья уменьшается поступление атмосферных осадков и существенно растут потери воды на суммарное испарение.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Площадь водосбора уже с первой трети прошлого века широко используется для изучения пространственных изменений речного стока и в гидрологических расчетах (Воскресенский, 1962; Федоровский, 1985; и др.). В.В. Богатовым и Т.В. Никулиной (2010) показано, что размер площади водосбора имеет значение и в изменении разнообразия альгосообществ. Кроме того, ранее А.Ф. Алимовым (Alimov, 2003) по данным Дж. Дэвида Аллана (Allan, 1995) получена связь площади бассейнов рек (S) с числом видов рыб (N_{fish}) в речных системах почти всех континентов Земли. Такая взаимосвязь была выражена степенным уравнением: $N_{\text{fish}} = 0.134 S^{0.544}$; $R^2 = 0.967$.

Исторически сложившиеся ландшафты в верхних частях речных бассейнов оказывают существенное влияние на формирование биологического разнообразия речных сообществ (Богатов и др., 2010). В частности, в верховьях р. Комаровки темпы изменения морфометрических и гидрологических характеристик рек хорошо совпали с темпами изменения таксономического состава альгосообществ. Оказалось, что водосборная территория в пределах 60–70 км² (что соответствует рекам 1, 2-го и частично 3-го порядков) обеспечивает формирование и поддержание многовидового сообщества водорослей – обитателей горного и полугорного участков. Именно в пределах данной водосборной площади наблюдается жесткая зависимость как морфогидрологических характеристик рек, так и таксономического разно-

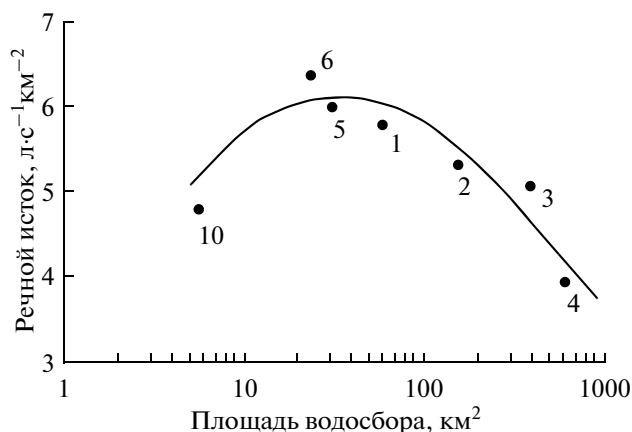


Рис. 6. Зависимость среднегодового летне-осеннего стока в бассейне р. Комаровки от площади водосбора (цифрами обозначены посты наблюдений ПВБС).

образия водорослей от величины водосборной площади. Замедление темпов увеличения таксономического разнообразия водорослей, наблюдаемое с последующим продвижением вниз по течению, указывает на некоторую границу, за пределами которой речное сообщество переходит в иное состояние, свойственное многоводным участкам рек, в континууме которых наблюдается более медленный оборот питательных веществ по сравнению с реками наиболее низких порядков (Minshall et al., 1983), а изменение структурно-функциональных характеристик биоты имеет более сглаженный вид (Богатов, 1994). Поскольку ранее для горного и полугорного участков р. Комаровки был показан сходный характер изменения видового состава альгосообществ и зообентоса (Богатов и др., 2010), можно говорить об определяющей роли верховьев рек в формировании речного бентосного сообщества в целом.

На примере верховий р. Комаровки была выявлена тесная взаимосвязь в темпах формирования фитобентосных сообществ с такими морфогидрологическими характеристиками реки, как ее порядок и уклон тальвега русла. В свою очередь известно, что изменение уклонов рек связано с размерами и формами русел рек, составом отложений, условиями освещенности. В верховьях малых горных рек преобладают узкие долины, поросшие густой древесной, кустарниковой и травянистой растительностью, а каменистые русла с валунами часто засорены упавшими деревьями. Для таких участков характерна слабая освещенность преимущественно рассеянным светом, так как прямые солнечные лучи попадают только при высоком стоянии солнца в течение нескольких часов в сутки и в основном перехватываются растительностью. Движение приземного воздуха на данных участках затруднено, его влажность часто

находится в состоянии насыщения. Ниже по течению долины расширяются, русла становятся глубже, состав донных отложений меняется на фракции меньшего размера, растительность разреживается. Это улучшает условия освещенности и вентиляции, что оказывает прямое воздействие не только на наземные, но и речные сообщества.

Известно, что рост порядков рек отражается не только в увеличении площади их водосборов, но и в изменении их роли в переносе воды. И.Н. Гарцман (1974) предложил разделять все реки по функциональному критерию на две категории: дренажные и транзитные. Дренажными были названы реки, служащие коллекторами избыточной воды на водосборе. К ним относятся преимущественно реки 1-го и 2-го порядков, т.е. малые реки. К транзитным относятся реки более высоких порядков, участвующие в переносе объемов воды, доставляемой дренажными элементами речной сети. Именно дренажные элементы речной сети собирают воды родников и ручьев в распадках и непосредственно приток почвенного и делювиального, а иногда и поверхностного стока со склонов водосборов. Распределение среднегодового летне-осеннего стока с водосбора Комаровки подтверждает это положение. Концентрация числа рек 1–2-го порядков на водосборах площадью 20–30 км² наиболее велика, поэтому модули стока, выражающие сток с единицы площади, здесь относительно большие. С ростом размера водосбора в структуре речной сети увеличивается доля транзитных элементов, а часто и бессточных участков, поглощающих сток, и модули стока начинают уменьшаться. Таким образом, сток с водосбора большой реки в замыкающем створе практически равен суммарному стоку малых рек. Отсюда следует фундаментальный вывод: количество и качество вод больших рек определяются исключительно водами малых рек, а рост площади водосбора сам по себе в данном случае играет второстепенную роль.

Основываясь на представлениях И.Н. Гарцмана, мы можем заключить, что в р. Комаровке основное формирование многовидовых сообществ фитобентоса происходит в пределах дренажных участков рек, при этом суммарное число таксонов водорослей здесь тесно связано с величиной водосборной площади до значений, равных примерно 60–70 км². Последующие изменения видового состава альгосообществ, происходящие в условиях транзитных участков рек, определяются не столько площадью водосбора, сколько изменениями скоростного и температурного режимов воды, что особенно важно при выходе рек на равнину и соответствующей смене реофильных сообществ на потамофильные.

Работа выполнена при поддержке Отделения биологических наук РАН (грант № 12-1П30-01).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богатов В.В.* Экология речных сообществ Российской Федерации Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1994. 210 с.
- Богатов В.В., Никулина Т.В.* Распределение водорослей в континууме р. Комаровки (Приморский край, Россия) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2009. № 3. С. 30–39
- Богатов В.В., Никулина Т.В.* Связь видовой разнообразия сообществ водорослей с площадью водосбора рек юга Дальнего Востока России // Биология внутр. вод. 2010. № 3. С. 47–51. (Inland Water Biology. 2010. V. 3. № 3. P. 249–253. DOI: 10.1134/S1995082910030077).
- Богатов В.В., Никулина Т.В., Вишневкова Т.С.* Соотношение биоразнообразия фито- и зообентоса в континууме модельной горной реки Комаровки (Приморский край, Россия) // Экология. 2010. № 2. С. 134–140. (Rus. J. of Ecology. 2010. V. 41. № 2. P. 167–172. DOI: 10.1134/S1067413610020098).
- Водоросли. Справочник. Киев: Наукова думка, 1989. 608 с.
- Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 548 с.
- Голлербах М.М., Полянский В.И.* Общая часть. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Сов. наука, 1951. Вып. 1. 200 с.
- Гарцман И.Н.* Топология речных систем и проблемы зональности в географии и гидрологии // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1974. Вып. 44. С. 33–41.
- Горчаков А.М.* Исследование элементов водного баланса и его структуры. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 182 с.
- Материалы наблюдений Приморской воднобалансовой станции. Владивосток: Изд-во ДВНИГМИ, 1957–1988.
- Никулина Т.В.* Таксономическая структура и эколого-географическая характеристика альгофлоры бассейна реки Раздольной (Приморье) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2005. Вып. 3. С. 223–236.
- Федоровский А.С.* Формирование водных ресурсов малых рек Юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 124 с.
- Хромов С.П.* Муссоны в общей циркуляции атмосферы // А.И. Воейков и современные проблемы климатологии. Л.: Гидрометеиздат, 1956. С. 84–108.
- Хортон Р.Е.* Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М.: Изд-во. иностр. лит-ры, 1948. 158 с.
- Alimov A.F.* Towards a theory of the functioning of aquatic ecosystems. Leiden: Backhuys Publ., 2003. 130 p.
- Allan J.D.* Stream ecology. Structure and function of running waters. L.: Chapman & Hall, 1995. 388 p.
- Cummins K.W.* Riparian-stream linkage paradigm // Verh. Intern. Verein. Limnol. 2002. V. 28. P. 49–58.

- Cummins K.W., Wilzbach M.A., Gates D.M.* et al. Shredders and riparian vegetation // *BioScience*. 1989. V. 39. P. 24–30.
- Gregory S.V., Swanson F.J., McKee W.A., Cummins K.W.* An ecosystem perspective of riparian zones // *BioScience*. 1991. V. 41. P. 540–551.
- Hughes R.M., Wang L., Seelbach P.W.* Eds. Landscape influences on stream habitats and biological assemblages. American Fisheries Society, Symposium 48. Bethesda, MD: AFS, 2006. 697 p.
- Minshall G.W., Petersen R.W., Cummins K.W.* et al. Inter-biome comparison of stream dynamics // *Ecol. Monogr.* 1983. V. 53. P. 1–25.
- Perry N.L., Schaeffer D.J.* The longitudinal distribution of riverine benthos: a river discontinuum? // *Hidrobiologia*. 1987. V. 148. P. 257–268.
- Swift E.* Cleaning diatoms frustules with ultraviolet radiation and peroxide // *Phycologia*. 1967. № 6. P. 161–163.
- Townsend C.R.* The patch dynamics concept of stream community ecology // *J. of the North Amer. Benthological Soc.* 1989. V. 8. P. 36–50.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W.* et al. The River Continuum Concept // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1980. V. 37. P. 130–137.
- Ward J.V.* The four-dimensional nature of lotic ecosystems // *J. of the North Amer. Benthological Soc.* 1989. V. 8. P. 2–8.