

О ВЛИЯНИИ ЗАБОЛОЧЕННОСТИ И ЛЕСИСТОСТИ ВОДОСБОРОВ НА ВОДНЫЙ СТОК РЕК ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Получены новые данные об общей площади водосборов рек таежной зоны Западной Сибири, их лесистости и заболоченности, позволяющие по-новому взглянуть на проблему определения водного стока гидрологически неизученных рек. Уточнены значения модулей максимального, минимального и среднего водных стоков рр. Чая, Икса, Андарма, Бакчар, Ключ, Васюган, Горчак, Парабель, Кенга, Чузик с учетом новых данных о площади водосборов. Показано, что связь между заболоченностью, лесистостью и водным стоком является неоднозначной, в связи с чем необходим более детальный анализ структуры заболоченных и лесных территорий. Установлено, что влияние лесистости и заболоченности различным образом проявляется для рек с площадью водосбора до и свыше 5000 км², что позволяет уточнить границу между малыми и средними реками таежной зоны.

Ключевые слова: водный сток; заболоченность и лесистость водосборов; Западная Сибирь; дистанционные методы исследования.

Решение целого ряда гидрологических задач сопряжено с оценкой влияния заболоченности, озерности и залесенности водосборных территорий на величину речного стока. Этой проблеме посвящено большое количество научных исследований, среди которых следует отметить работы [1, 2], разработаны нормативные документы, определяющие общий подход к оценке влияния морфометрических характеристик речных бассейнов на гидрологический режим. И все же до сих пор остаются вопросы о корректности ряда используемых подходов и характере получаемых в соответствии с ними функциональных зависимостей.

Причиной этого, вероятно, являются мелкомасштабные карты и, самое главное, нерешенные методологические вопросы типа «Что такое болото (водный объект, экосистема, фитоценоз, комплекс почв, геологический объект)? Может ли быть болото без торфа (например, в долине большой реки, где процесс торфообразования систематически прерывается вследствие формирования слоя минеральных осадков после прохождения половодья)? Как отличить болото от заболоченного леса? Является ли болото водным объектом? Если да, то каким – поверхностным (как это указано в действующем Водном кодексе Российской Федерации) или подземным (что вытекает из характера движения подземных вод)? Как определить водораздел на заболоченной территории с учетом наличия различных внутриболотных экосистем, сезонных и многолетних изменений поверхности водосбора?» и т.д. Следует отметить, что вопросы эти совсем не новые. Они с такой же актуальностью стояли и 50, и 100 лет назад, но до сих пор на них нет полноценных ответов, а лишь отдельные решения.

Чем отличается современная ситуация от того, что сложилось в течение десятилетий? Во-первых, появилась новая законодательная практика, определяющая возможность работать с земельными участками, включая заболоченные. Во-вторых, с каждым днем все большее распространение получают дистанционные методы исследования Земли, представляющие собой наиболее эффективный, по сравнению с существующими в настоящее время, инструмент. С учетом этого в данной работе предпринята попытка определить морфометрические параметры заболоченности лесистости водосборов путем дешифрирования космоснимков и на качественно новом уровне оценить роль болот и леса в формировании водного стока.

Объекты и методика исследования

Объектом исследований являются средние (с площадью водосборов от 2000 до 50000 км²) и малые (с площадью водосбора до 2000 км²) реки, являющиеся притоками Оби разного порядка, – рр. Чая, Андарма, Бакчар, Икса, Васюган, Горчак, Парабель, Кенга, Чузик, Ключ. Схема размещения пунктов гидрологических наблюдений в районе исследований представлена на рис. 1.

С использованием данных космической съемки Landsat 7 на основе тематического дешифрирования были получены границы водосборов указанных выше рек. Также была выполнена количественная оценка лесистости и заболоченности рассматриваемых водосборов в результате совместного анализа данных дистанционного зондирования Земли, материалов гидрологических режимных наблюдений и полевых изысканий. Для решения этой задачи в пределах выделенных водосборов было проведено дешифрирование болотных и лесных экосистем с помощью методов автоматизированной классификации. Для дешифрирования применялись мультиспектральные космоснимки с разрешением 30 м, выполненные прибором ETM+ с борта ИСЗ Landsat 7. При классификации использовались 1–5-й спектральные каналы с разрешением 30 м, соответствующие 5 спектральным диапазонам (в мкм): 1) 0,45–0,52; 2) 0,52–0,60; 3) 0,63–0,69; 4) 0,76–0,90; 5) 1,55–1,75.

Для построения обучающих выборок применялись синтезы-комбинации имеющихся каналов (например, 5, 4, 2-й каналы), позволяющие наиболее уверенно выделить группы яркостных, геометрических и текстурных признаков дешифрируемых классов (экосистем). В соответствии с этими признаками были проведены выделение и классификация экосистем, после чего полученные изображения векторизовывались и экспортировались в формат ArcGIS, где осуществлялись генерализация и обработка графических объектов. На основе полученных векторных покрытий проводились подсчеты площадей лесных и болотных экосистем, а также характеристики лесистости и заболоченности. Дополнительная информация об использованной методике дешифрирования болотных и лесных экосистем в таежной зоне Западной Сибири и примеры дешифрирования приведены в [3–5].

Во-вторых, выполнено сопоставление данных дистанционного зондирования Земли с материалами режимных гидрологических наблюдений Рос-

гидромета за весь период наблюдений (их обобщение выполнено в [6]) с использованием корреляционного и регрессионного анализа с учетом требований [7]. Зависимость принималась статистически значимой с уровнем значимости 5%, если коэффициент корреляции r между показателями и коэффициент регрессии a больше удвоенной погрешности определения коэффициента корреляции δ_r и δ_a соответственно, а величина S/σ – не более 0,8 (σ – среднее квадратическое отклонение). Погрешности определения коэффициентов корреляции определены по формуле

$$\delta_r \approx \frac{1-r^2}{\sqrt{N-1}}, \quad (1)$$

где N – объем выборки; величина S определена по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y_{\phi} - y_{\text{в}})^2}{N}}, \quad (2)$$

где y_{ϕ} и $y_{\text{в}}$ – фактическое и вычисленное значения величины y . Дополнительно проводилось сопоставление результатов дешифрирования космоснимков с данными экспедиционных исследований, полученными авторами в течение 2005–2010 гг.

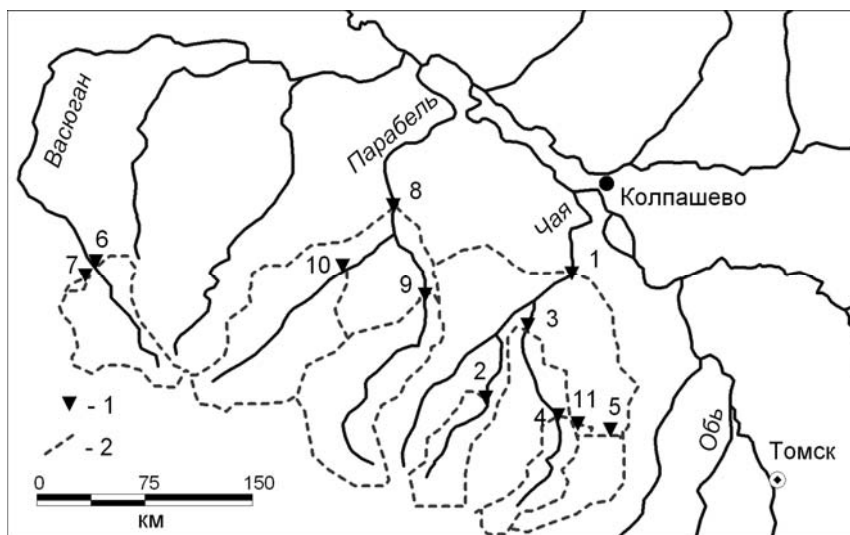


Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов (1) и границ водосборов исследуемых рек (2); нумерация постов приведена в табл. 1–3

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты дешифрирования космоснимков и последующей их обработки с использованием геоинформационных технологий (табл. 1, 2) в целом заметно отличаются от данных, полученных ранее, например в [8]. Причиной этого могут являться менее точный картографический материал, с помощью которого определялись заболоченные и залесенные территории, а также различия в методологии исследования (в частности, в рассматриваемой работе учитывались линии стекания, идентифицируемые с помощью фитоиндикации), и оп-

ределенные изменения в структуре экосистем изучаемых водосборов (период между измерениями составляет около 50 лет). Тем не менее в большинстве случаев, а именно для всех средних рек, площади водосборов оказались несколько меньше, чем это было принято ранее. Следовательно, при условии правильности выполненных измерений ранее полученные результаты расчета модулей водного стока оказались меньше фактических значений. В случае малых рек с сильно заболоченными водосборами наблюдается противоположная ситуация – площади их водосборов оказались выше ранее известных данных, а модули водного стока – завышенными.

Таблица 1
Площади речных водосборов Васюганского болота и различных экосистем в их пределах (в скобках – данные [8]), км²

Река	Пункт	$F_{\text{в}}$	$f(\text{лм})$	$f(\text{лб})$	$f(\text{л}^*)$	$f(\text{бб})$	$f(\text{б}^*)$	$f(\text{г})$
Чая	Подгорное	24211 (25000)	9572	8854	18426	5498	8877	287
Андарма	Панычево	2382 (2330)	1103	628	1731	636	1264	15
Бакчар	Горелый	6406 (6610)	2157	2487	4644	1617	2512	145
Бакчар	Полынянка	2091 (2040)	577	792	1369	638	823	84
Икса	Плотниково	2286 (2560)	614	877	1491	752	910	43
Васюган	Майск	3723 (3730)	1412	1439	2851	781	1460	91
Горчак	Майск	103 (97)	32,0	50,6	82,6	20,4	70,4	0,0
Парабель	Новиково	17314 (17900)	7770	6077	13847	3340	6096	127
Кенга	Центральный	6480 (7440)	1934	3164	5098	1279	3184	103
Чузик	Осипово	6850 (7090)	3765	1835	5600	1245	1853	5
Ключ	Полынянка	75,7 (44)	16,1	21,2	37,2	38,5	72,0	0,0

Примечание. $F_{\text{в}}$ – площадь водосбора, км²; $f(\text{лм})$ – площадь леса на минеральных грунтах, км²; $f(\text{лб})$ – площадь болотного леса, км²; $f(\text{л}^*)$ – общая площадь лесов, км²; $f(\text{бб})$ – площадь безлесных болот, км²; $f(\text{б}^*)$ – общая площадь болот, км²; $f(\text{г})$ – площадь гарей, км².

Таблица 2

Доли распространения экосистем в пределах речных водосборов Васюганского болота, % от площади водосборов

Река	Пункт	$f(лм)^*$	$f(лб)^*$	$f(л^*)^*$	$f(бб)^*$	$f(б^*)^*$	$f(г)^*$
Чая	Подгорное	39,5	36,6	76,1 (60)	22,7	36,7 (35)	1,2
Андарма	Панычево	46,3	26,4	72,7	26,7	53,1	0,6
Бакчар	Горелый	33,7	38,8	72,5 (50)	25,2	39,2 (40)	2,3
Бакчар	Полынянка	27,6	37,9	65,5 (75)	30,5	39,3 (24)	4,0
Икса	Плотниково	26,9	38,4	65,2 (50)	32,9	39,8 (49)	1,9
Васюган	Майск	37,9	38,7	76,6 (64)	21,0	39,2 (35)	2,4
Горчак	Майск	31,1	49,1	80,2 (70)	19,8	68,4 (20)	0,0
Парабель	Новиково	44,9	35,1	80,0 (59)	19,3	35,2 (40)	0,7
Кенга	Центральный	29,8	48,8	78,7 (50)	19,7	49,1 (40)	1,6
Чузик	Осипово	55,0	26,8	81,8 (64)	18,2	27,1 (35)	0,1
Ключ	Полынянка	21,2	28,0	49,2 (80)	50,8	95,1 (15)	0,0

Примечание. В скобках – данные [8]. $f(лм)^*$ – площадь леса на минеральном грунте, %; $f(лб)^*$ – площадь болотного леса, %; $f(л^*)^*$ – общая площадь лесов, %; $f(бб)^*$ – площадь безлесных болот, %; $f(б^*)^*$ – общая площадь болот, %; $f(г)^*$ – площадь гарей, %.

С учетом этого нами были пересчитаны модули среднегоголетнего, максимального и минимального (за период ледостава и открытого русла) водных стоков (табл. 3) и проведен их корреляционный анализ, позволивший выявить статистически значимые связи между морфометрическими и гидрологическими характеристиками (табл. 4), наиболее значимые среди которых между: 1) модулем максимального стока и общей площадью водосбора, площадью лесов на минеральных грунтах, общей площадью лесов в абсолютном выражении (обратная зависимость), площадью болотных

лесов и общей площадью болот (в абсолютном выражении – обратная зависимость, в относительном – прямая); 2) модулем минимального стока (летне-осеннего и зимнего) и общей площадью водосборов, площадью лесов на минеральных грунтах, болотных лесов, общей площадью лесов и болот (прямая зависимость) и площадью безлесных болот (обратная зависимость). Значимая связь с модулем годового стока выявлена только для относительной суммарной площади лесов (прямая зависимость) и относительной площади безлесных болот и гарей (обратная зависимость).

Таблица 3

Модули водного стока малых и средних рек Васюганского болота, вычисленные с учетом данных дешифрирования Земли, л/(с·км²)

Река	Пункт	$M_{ср}$	$M_{мин(ло)}$	$M_{мин(зим)}$	M_{max}
Чая	Подгорное	3,25	0,51	0,52	47,50
Андарма	Панычево	6,27	0,25	0,11	149,95
Бакчар	Горелый	2,79	0,43	0,26	49,02
Бакчар	Полынянка	2,44	0,01	0,01	61,21
Икса	Плотниково	3,14	0,04	0,03	105,86
Васюган	Майск	4,06	0,25	0,14	69,30
Горчак	Майск	5,44	0,29	0,16	210,68
Парабель	Новиково	4,12	1,05	0,68	40,31
Кенга	Центральный	3,78	0,98	0,74	45,06
Чузик	Осипово	4,03	0,89	0,61	36,50
Ключ	Полынянка	2,38	0,00	0,00	106,08

Примечание. $M_{ср}$ – среднеегоголетний модуль водного стока; $M_{мин(ло)}$ – минимальный модуль водного стока в летне-осенний период; $M_{мин(зим)}$ – минимальный модуль водного стока в зимний период; M_{max} – максимальный модуль водного стока.

Таблица 4

Статистически значимые коэффициенты корреляции между гидрологическими и морфометрическими характеристиками рек Васюганского болота и погрешности их определения

Показатель	$M_{ср}$	$M_{мин(ло)}$	$M_{мин(зим)}$	M_{max}
$F_{ср}$, км ²	–	0,53	0,64	–0,48
$f(лм)$, км ²	–	0,57	0,66	–0,48
$f(лб)$, км ²	–	0,53	0,65	–0,48
$f(л^*)$, км ²	–	0,56	0,66	–0,49
$f(бб)$, км ²	–	–	0,56	–
$f(б^*)$, км ²	–	0,49	0,62	–0,47
$f(г)$, км ²	–	–	–	–
$f(лм)^*$, %	–	–	–	–
$f(лб)^*$, %	–	–	–	0,52
$f(л^*)^*$, %	0,75	0,76	0,72	–
$f(бб)^*$, %	–0,72	–0,78	–0,73	–
$f(б^*)^*$, %	–	–	–	0,49
$f(г)^*$, %	–0,63	–	–	–

Примечание. Без учета р. Ключ.

Значения модуля минимального стока закономерно возрастают с увеличением общей залесенности и заболоченности водосбора (рис. 2), а значения максимального стока, напротив, уменьшаются (рис. 3), причем обратная зависимость между модулем максимального стока и общей лесистостью или заболоченностью водосбора прояв-

ляется до площади соответствующих экосистем до 5 000–6 000 км². Это позволяет предположить, что именно эта граница соответствует делению таежных рек на малые (азональные) и средние (зональные) – примерно до 5 000 км² в формировании стока важную роль играют местные факторы, а свыше 5 000–6 000 км² более заметно

проявляется общая географическая зональность, связанная с увеличением водного стока на рассматриваемой территории с юго-запада на северо-восток.

В целом заболоченность и лесистость не являются факторами, однозначно влияющими на величину водного стока рек в таежной зоне Западной Сибири. Например, минимальный сток возрастает при увеличе-

нии общей заболоченности водосбора, но уменьшается при увеличении доли безлесных болот. В связи с этим требуются дополнительные исследования по оценке водного стока с болот и разных типов болотных экосистем с последующей корректировкой расчетных формул, используемых для оценки водного стока в регионе.

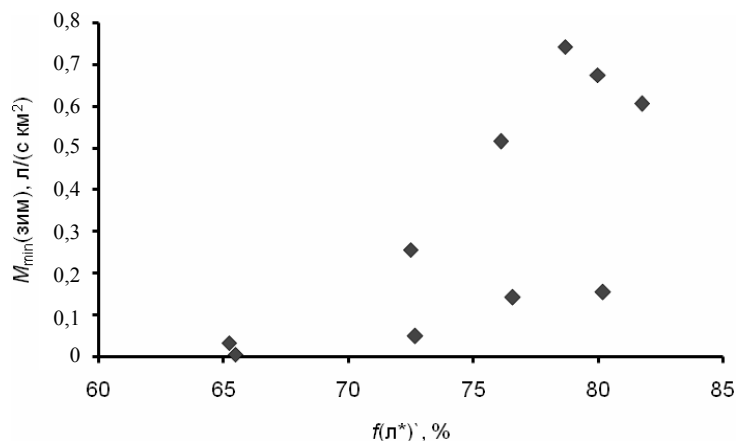


Рис. 2. Зависимость между значениями минимального модуля водного стока в летне-осенний период и суммарной относительной площадью лесов

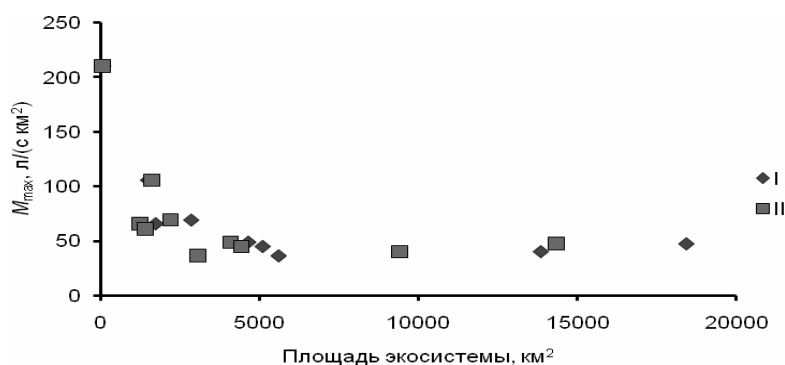


Рис. 3. Зависимость между значениями максимального модуля водного стока и площадями распространения лесов (I) и болот (II)

Выводы:

1. Апробирована авторская методика фитоиндикации и дистанционных исследований [4, 5] в изучении водного стока рек Сибири. Получены новые данные об общей площади водосборов таежной зоны Западной Сибири, их лесистости и заболоченности, позволяющие по-новому взглянуть на проблемы определения водного стока гидрологически неизученных рек.

2. Уточнены значения модулей максимального, минимального и среднего водных стоков рр. Чая, Икса, Андарма, Бакчар, Ключ, Васюган, Горчак, Парабель, Кенга, Чузик с учетом новых данных о площади водосборов.

3. Показано, что заболоченность и лесистость оказывают различное влияние на малые и средние реки, что позволяет уточнить границу между ними по величине площади водосбора не менее 5000 км².

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеониздат, 1975. 280 с.
2. Болота Западной Сибири. Их строение и гидрологический режим / Под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова. Л.: Гидрометеониздат, 1976. 447 с.
3. Савичев О.Г., Скугарев А.А. Оценка опасности затопления приречных территорий рек Оби и Томи в пределах Томской области // Геоинформатика. 2008. № 2. С. 61–66.
4. Базанов В.А., Савичев О.Г., Скугарев А.А., Харанжевская Ю.А. Применение метода фитоиндикации в гидрологических исследованиях заболоченных территорий Западной Сибири (на примере р. Ключ, Томская область) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 4 (8). С. 84–97.
5. Bazanov V.A., Berezin A.E., Savichev O.G., Skugarev A.A. The phytointication method for mapping peatlands in the taiga zone of the West-Siberian Plain // International Journal of Environmental Studies. August 2009. Vol. 66, № 4. P. 473–484.
6. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск.: Изд-во Том. политех. ун-та, 2010. 248 с.
7. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М.: Госстрой России, 2004. 72 с.
8. Основные гидрологические характеристики. Т. 15: Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан, вып. 1: Верхняя и Средняя Обь. Л.: Гидрометеониздат, 1979. 488 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 27 декабря 2010 г.