

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.164(571.63)

### ФОРМЫ ЛИНЕЙНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СКЛОНОВОГО СТОКА В СРЕДНЕГОРЬЕ (НА ПРИМЕРЕ СИХОТЭ-АЛИНЯ)<sup>1</sup>

© 2020 г. Б. И. Гарцман<sup>a, b, \*</sup>, Т. С. Губарева<sup>a, b</sup>, С. Ю. Лупаков<sup>b, c</sup>,  
А. В. Орляковский<sup>c</sup>, А. М. Тарбеева<sup>d</sup>, В. В. Шамов<sup>b</sup>, Е. А. Шекман<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

<sup>b</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, 690041 Россия

<sup>c</sup>Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, 690950 Россия

<sup>d</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

\*e-mail: gartsman@inbox.ru

Поступила в редакцию 06.03.2019 г.

После доработки 06.03.2019 г.

Принята к публикации 10.10.2019 г.

Крупные подповерхностные водотоки на крутых склонах имеют устойчивое местоположение с выраженной областью питания (водосбором), линейную форму и протяженность в десятки-сотни метров. Они образуют закрытую дренажную сеть, подобную по роли и масштабам первичной гидрографической сети, и представляют особые гидрологические объекты – дрены. Дрены распространены в среднегорье гумидной зоны, где обеспечивают формирование значительной части склонового стока. На малых речных бассейнах Сихотэ-Алиня путем полевых обследований, гидрометрических измерений и крупномасштабной топографической съемки исследованы гидрографические и гидрологические характеристики дрен.

*Ключевые слов:* склоновый сток, горные реки, дрены.

DOI: 10.31857/S0321059620020042

#### ВВЕДЕНИЕ

Генезис стока первичных элементов речной сети, а также неразрывно связанный с ним процесс формирования самих этих элементов остаются ключевой проблемой гидрологии, для решения которой имеющихся данных стандартных сетевых наблюдений явно недостаточно. Перспективы развития исследований открывают комплексные наблюдения на малых речных водосборах с использованием современных технических средств [5].

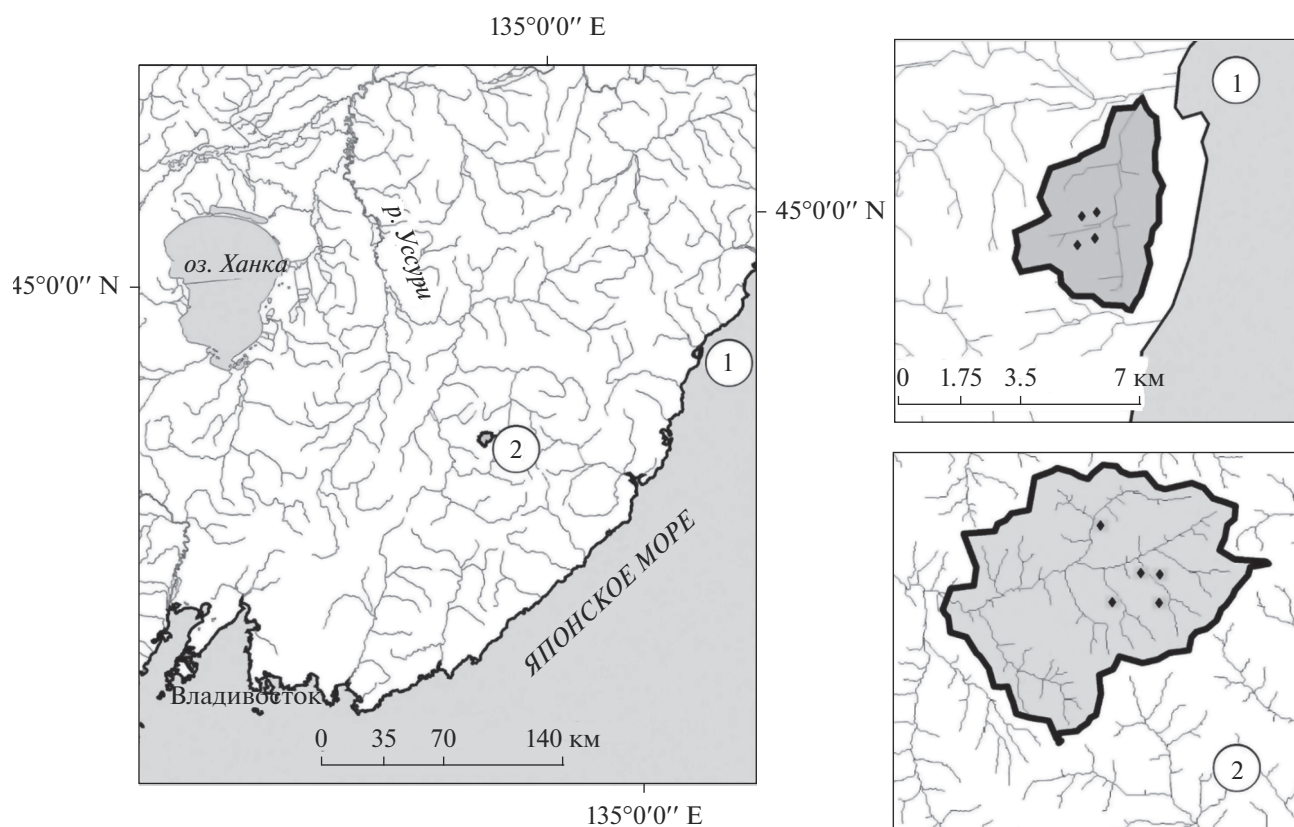
Известно, что в горных областях зоны избыточного увлажнения на крутых, покрытых чехлом рыхлых отложений, склонах метеорные воды крайне редко образуют поверхностные временные водотоки. Они движутся почти исключительно в толще склоновых отложений, при этом частично в виде свободных потоков, сходных с поверхностными по гидродинамическим характеристикам. В специальной литературе такие потоки обозначаются различными терминами – “быстрый грунтовый сток” [4], “контактный сток” [2], “сток по макропорам” [16], “сток по трубкам”

(“pipeflow”) [18], сток по подповерхностным временным руслам [3], “быстрый подповерхностный дождевой сток” (“rapid subsurface storm flow”) [19]. Эти формы склонового стока в настоящее время остаются слабо изученными [14], хотя уже имеются попытки развернутой их классификации [15].

Наиболее значительные зоны концентрации подповерхностного склонового стока имеют устойчивое положение в пространстве, линейную форму, протяженность в десятки и сотни метров, а также выраженную область питания (водосбор). Другими словами, они образуют склоновую закрытую дренажную сеть, вполне подобную по роли и масштабам постоянной и временной первичной гидрографической сети. Это дает основание рассматривать их как особый тип гидрологических объектов, называемых авторами статьи общим термином “дрены”, в отношении которых целесообразна постановка исследовательских задач и применение методов исследования, характерных для гидрологии суши.

За рубежом такой подход уже имеет определенную традицию и получил отображение в современных учебниках по гидрологии [15], однако пока не представлен адекватно в стоковых моделях. Наиболее инновационные и систематиче-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 19-05-00353, № 18-05-60036 и № 17-05-00217).



**Рис. 1.** Расположение и схемы исследуемых бассейнов: 1 – р. Падь Васьякова; 2 – р. Правая Соколовка. Черными ромбиками обозначено примерное положение исследуемых дрен (таблица).

ские в этой связи – исследования Дж. Макдонелла с коллегами [17, 18]. В российской гидрологии подобные идеи восходят к классическим экспериментальным работам А.Н. Бефани [2], но развиваются слабо и пока не интегрированы в концептуальный базис теории стока. Лишь в немногих из недавних публикаций рассматривается гидрологическая роль макромасштабных подповерхностных потоков [3, 10]. Результаты исследований таких потоков, выполненных авторами на малых водосборах Сихотэ-Алиня в 2015–2016 гг., представлены в данной статье.

#### ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в южной части Сихотэ-Алиня (рис. 1), в бассейнах рек Падь Васьякова (побережье Японского моря, Дальнегорский район) и Правая Соколовка (система Верхней Уссури, Чугуевский район Приморского края). Горные сооружения Сихотэ-Алиня по высоте превышают 2000 м, сложены осадочными и магматическими породами и являются областью мезозойской складчатости [5]. Исследуемые бассейны расположены на абсолютных отметках 0–271 м (Падь Васьякова) и 440–1106 м (Правая Со-

коловка); многолетняя мерзлота в исследуемых бассейнах отсутствует.

В бассейне р. Правая Соколовка распространены преимущественно позднемеловые эффузивы кислого состава (туфы, туфопесчаники, игнимбриты, риолиты) и осадочные породы юры и триаса (песчаники, алевролиты с обломками и глыбами известняков, кремней) [13]. Основная часть бассейна р. Падь Васьякова сложена более молодыми эффузивами, интрузивами и вулканогенно-осадочными образованиями верхнего мела и палеогена [1].

Оба бассейна расположены в области распространения восточноазиатского муссона умеренных широт и имеют хорошо развитую речную сеть. Климат характеризуется высокими годовыми суммами осадков, >80% их выпадает в виде дождей с апреля по октябрь. Для режима рек характерны высокие летние паводки. С другой стороны, регион отличает максимальная для этих широт глубина промерзания почв (в среднем 53–125 см). Полное оттаивание почвы происходит в мае–июне [1, 7].

В летне-осенние периоды 2015–2016 гг. были обследованы склоны речных долин, сложенные с поверхности узкими (от нескольких метров до не-

скольких десятков метров) полосами грубообломочных отложений, нисходящими вдоль склона. Эти полосы часто, особенно в нижних частях склонов, покрыты обильной растительностью и задернованы, в верхних частях выполняющие их глыбы при низкой скорости сползания по склону могут быть покрыты только лишайниками. В некоторых из этих образований после закладки шурфов на глубине 70–100 см наблюдалось свободное течение воды.

С использованием шурфов были выполнены 60 измерений характеристик склоновых водных потоков методом ионного паводка (смещения индикатора), применяемого обычно для измерений на валунно-каменистых руслах горных рек [8]. В качестве индикатора применялся раствор NaCl с концентрацией 100 г/л. Непрерывная регистрация минерализации воды в контрольном створе потока (шурфе) осуществлялась мультипараметрической системой контроля качества воды YSI Professional Plus с временным шагом 5, 10 или 20 с при объемах заливаемого раствора от 0.25 до 2.5 л. Выполнялись также детальные топосъемки участков склонов с использованием GNSS приемников Sokkia GRX1 для высокоточной привязки и теодолита-тахеометра Sokkia SET 610.

### МОРФОЛОГИЯ ДРЕН

В исследованных бассейнах дрены формируются на основе каменных потоков — вытянутых вдоль склона полос крупнообломочного материала, не имеющих ясного выражения в рельефе, часто заросших и задернованных. Однако авторами наблюдались поперечные сечения крупных каменных потоков, искусственно вскрытых дорожной выемкой, которые в разрезе представляют собой *U*- или *V*-образные линзы валунника без заполнителя в толще склоновых отложений (рис. 2а) [12]. Ширина линз составляет от 1 до 3 м, мощность 1.5–2 м, расстояние между соседними линзами 30–60 м. В верхних частях некоторых склонов каменные потоки имеют вид плащеобразно залегающих курумов со следами движения, хорошо читаемыми на космических снимках. Подробное описание различных типов каменных потоков выполнена Г.В. Полуниным [11], который отметил и связь их с подповерхностными водными потоками.

Основной внешний морфологический признак дрен — вытянутые по направлению падения склона цепочки крупных грубоокатанных каменных обломков, которые прослеживаются даже на задернованном склоне. Вблизи таких цепочек (полос) нередко прослушивается шум потока воды. Заглубленные дрены могут быть совершенно незаметны на поверхности, но чаще они все-таки связаны с определенными формами микрорельефа, как положительными, так и отрицательными.

Наиболее типичен внешний вид дрены как цепочки каменных валов, перемежаемых участками вытянутых вдоль склона понижений, днища которых переувлажнены и местами имеют открытые выходы склоновых вод в форме мочажин. Обломки на поверхности валов плохо окатаны, некоторые имеют следы пучения: ориентированы длинной осью вверх и неустойчивы. На самых крупных дренах преобладают понижения, образующие почти непрерывные неглубокие ложбины на склоне. Начала крупных дрен расположены в верхней трети склонов и приурочены к водосборным воронкам — округлым западинам с плоским каменистым или заболоченным дном и крутыми бортами. Цепочки таких же воронок нередко наблюдаются вниз по простиранию дрен. Генезис воронок, несомненно, связан с оползневыми, а также эрозионными, суффозионными и нивальными процессами [12].

При закладке шурфов дрена распознается даже в отсутствие потока воды по характерной рыхлой “упаковке” грубоокатанных обломков размером от 10 до 100 см по длинной оси (рис. 2б). Заполнитель в таких отложениях совершенно отсутствует, обломки настолько промыты, что совсем не пачкают рук при раскопках. По крупным протяженным дренам закладывалось по 3–4 шурфа. Длины дрен получены суммированием линейных расстояний между всеми шурфами, где зафиксировано наличие водного потока. Эти величины — минимальная оценка реальной длины дрен, которая в обоих бассейнах может достигать 100–200 м и более. Таковы наиболее типичные дрены Мармеладная и Марципан в бассейне Падь Васькова и дрены Дремучая и Безымянная в бассейне Правой Соколовки (таблица).

Крупнейшая из изученных дрен — Вафельная — прослеживается на аэрофотоснимках и на местности на протяжении  $\geq 700$  м. Она выражена в рельефе в виде неглубокой линейной отрицательной формы рельефа, имеющей уклон днища, практически не отличающийся от склонового, и “висячее” положение на склоне долины руч. Мармеладного (2-й порядок), а также слабую выраженность границ водосбора. В верхней части склона дрена Вафельная приурочена к типичной *V*-образной эрозионной рытвине глубиной до 3 м, в которой постоянный водоток отсутствует. Затем она переходит в сильно асимметричное понижение, у которого правый борт высотой до 3–4 м очень крутой, а левый слабо выражен, с небольшим уклоном, постепенно переходит в поверхность склона. Водосбор дрены Вафельной морфологически не выражен — обозначить его затруднительно как на карте, так и на местности.

Днище ложбины шириной 10–30 м заполнено крупным неокатанным обломочным материалом, размеры которого явно превышают максимально



(a)



(б)

**Рис. 2.** Примеры дрена, сформированных в каменных потоках: а – разрез дрена в дорожной выемке на склоне [12], б – шурф на дрене Безымянной – поверхность текущей воды на глубине 70 см.

возможные для размыва небольшим водотоком. Материал покрыт растительностью, имеет неплотную упаковку, что свидетельствует о его движении в прошлом, вероятно, под действием гравитационных сил и пучения. Возможно, эта часть дрена Вафельной приурочена к тектоническому нарушению (сбросу), которая концентрирует склоновый сток. Поверхностное течение водного потока наблюдается лишь фрагментарно в короткие периоды высокого увлажнения. Выраженное на поверхности русло отмечается лишь на корот-

ких отрезках. Напротив, водный поток под поверхностью дна имеет устойчивый характер.

Ручей Сухой представляет собой водоток 1-го порядка с отчетливо выраженными границами водосбора, долиной, поймой и руслом. Однако его русло сухое в течение почти всего года и почти на всем протяжении. Меженный сток осуществляется внутри крупнообломочных русловых отложений. Открытый поток в русле наблюдается лишь в паводки, а в межень – лишь на коротком

(15–20 м) приустьевом участке, где русло ручья глубокого врезано в отложения конуса выноса.

Таким образом, руч. Сухой и дрена Вафельная могут рассматриваться как переходные формы между поверхностными русловыми потоками (ручьями) и подповерхностными склоновыми потоками (дренами), причем руч. Сухой ближе к русловому, а дрена Вафельная – к склоновому потоку.

Дрена Наледная обнаружена в той части бассейна Правой Соколовки, где каменистость почвенного профиля и крупность каменных включений гораздо меньше. В результате, несмотря на явные признаки линейной концентрации стока, приведшей к формированию склоновой ложбины и активизации оползневых процессов, свободный подповерхностный осевой поток в ней не сформировался. Движение влаги в такой дрене осуществляется в рыхлых гравийно-песчаных отложениях, включающих в себя и суглинистые фракции, со скоростями, характерными для фильтрационного, а не свободного потока.

Еще один тип объектов представлен дрена Антропоген, которая сформировалась на склоне, подвергавшемся вырубке, ниже двух сходящихся трелевочных волоков. Волока перехватывают сток с обширного ровного вышележащего склона, на котором признаки формирования дрен совершенно отсутствуют. Дрена имеет небольшие размеры и, очевидно, краткий срок существования. Подобные ситуации формирования антропогенных склоновых потоков типичны для исследуемого региона.

Для крупных дрен при детальном их осмотре обычно удается выявить древовидное ветвление вверх по течению, подобное ветвлению ручейковой сети. Фуркация дрен вниз по течению также фиксируется, обычно она приурочена к участкам накопления крупнообломочного материала при выполаживании склона – конусам выноса. Кроме того, отчетливо проявляется тенденция группового субпараллельного расположения дрен на склонах, вероятно, отражающая их приуроченность к зонам дробления. Уклоны дрен, повторяющие в целом уклоны склонов, выдержаны в довольно узком диапазоне – 0.19–0.26 м/м, при этом крупные дрена имеют меньшие уклоны (таблица).

### ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕН

Возможность прослеживания дрены и закладок шурфов с ожидаемым появлением воды свидетельствует о существовании именно узких линейных потоков, подобных поверхностным водотокам, часто с хорошо выраженным бурным течением. Доказательства их обособленности и

непрерывности на протяжении сотен метров предоставляются методом измерения расхода. Вычисляемый по степени разбавления индикатора расход зависит от степени перемешивания потока. При правильном размещении датчика электропроводности на линии непрерывного тока от точки слива прибор дает запись сильного сигнала “паводкообразной” формы, а расчет расхода дает реалистичное значение, соответствующее визуально наблюдаемому.

При любых препятствиях свободному водообмену между точками слива и контроля сигнал получается слабым, зашумленным, а значения расхода – нереалистично высокими. Так, в дрене Вафельной установлено наличие двух субпараллельных водных потоков, расстояние между которыми ~10 м на протяжении >150 м. При расположении точек слива и контроля в разных потоках величина измеренного расхода увеличивается в  $\geq 10$  раз, т.е. водообмен между близко протекающими в крупнообломочных отложениях потоками составляет всего ~5%. На дрене Безымянной при ошибочном расположении оси измерений под углом  $>45^\circ$  к оси потока последовательные измерения в сухой период показали рост расходов при отчетливо наблюдаемом сокращении потока. Очевидно, при истощении потока в нем ослабляется поперечный водообмен, что ведет к фиктивному росту расхода при неверном расположении точек слива и контроля.

Сходство дрен с мелкими поверхностными водотоками подчеркивается режимом их стока. Фрагментарные записи наблюдений за уровнем воды в дренах, выполненные с помощью автоматических датчиков давления, дают картину, в целом не отличающуюся от записей гидрометрических постов на малых водотоках. На рис. 3а, 3б видно прохождение в течение летнего сезона типичных дождевых паводков, разделенных периодами межени. Также в стоке дрены прослеживаются характерные, неизменно наблюдаемые и на малых горных ручьях [5, 9] суточные колебания стока в период межени.

Запись ионного паводка при измерении расхода позволяет измерить ряд гидрологических характеристик дрены с различной точностью (таблица 1). Расход вычисляется по отношению средней за время паводка концентрации индикатора к его исходной концентрации в точке слива. Его значения надежны, как говорилось выше, если точки слива и контроля располагаются по одному и тому же потоку с хорошим перемешиванием. Определяются четыре значения времени добега индикатора по участку измерений (от момента слива): наименьшее – до начала роста минерализации, модальное – до момента пика, среднее – до центра тяжести записи ионного паводка, наибольшее – до момента возврата к исходной мине-

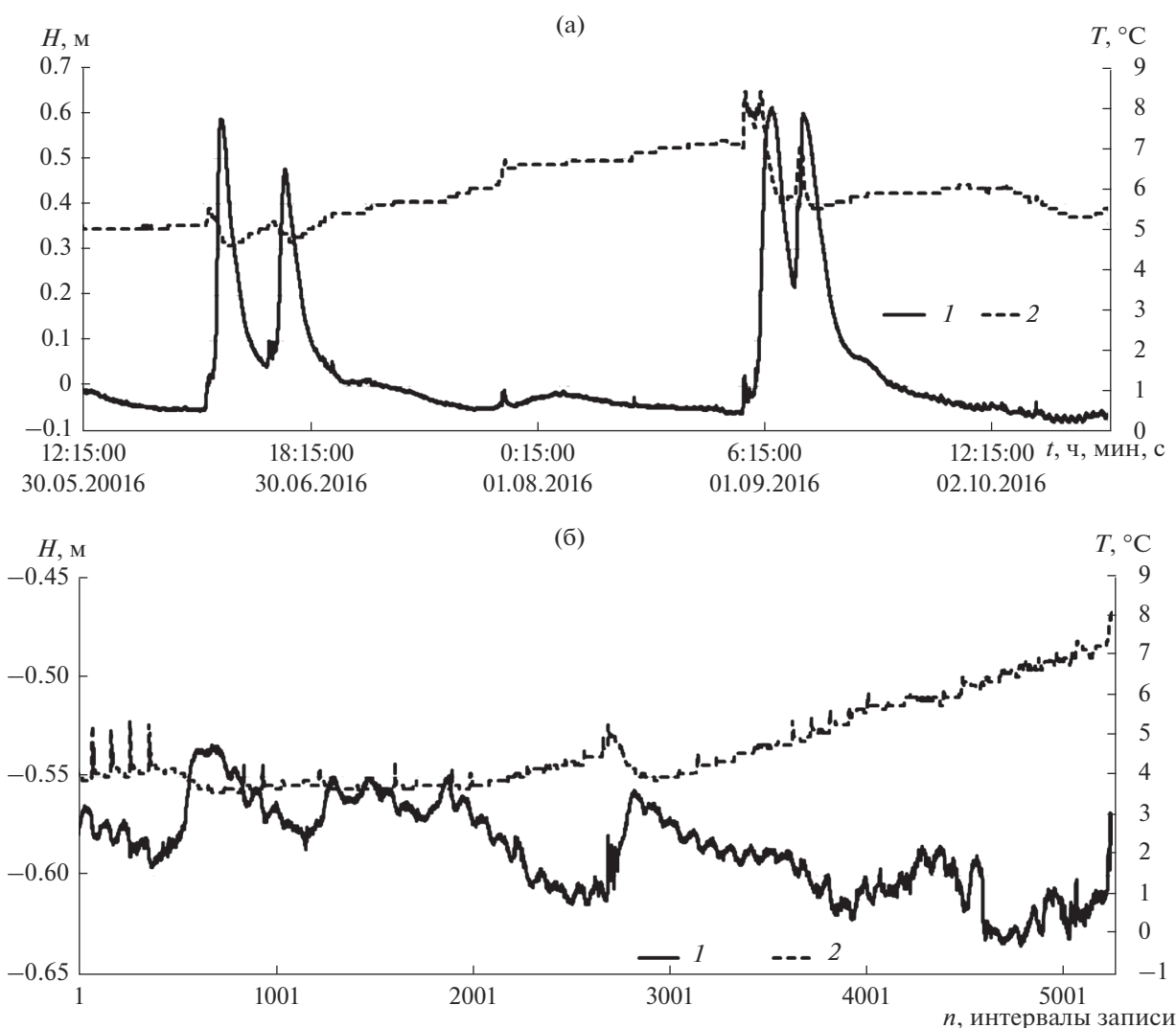


Рис. 3. Результаты наблюдений приборами с непрерывной записью: а – уровень (1) и температура воды (2) в дрене Вафельной с 30 мая по 18 октября 2016 г.; б – уровень (1) воды в дрене Антропоген с 27 мая по 21 июля 2017 г.

рализации (иногда с экстраполяцией записи). Деление длины участка измерений на указанные величины времени добегающего потока дает четыре характерные скорости потока – максимальную, модальную, среднюю, минимальную. Сечение потока определяется делением расхода на среднюю скорость.

Наименее точное – измерение минимальной скорости потока, поскольку плавный спад ионного паводка не позволяет уверенно определить точку возврата к исходной минерализации. Однако порядок этой величины и ее осредненные значения оцениваются достаточно надежно. Относительно низкая точность характерна также для измерений площадей сечения, поскольку это производные величины. Кроме того, все определенные описанным выше способом характеристики являются осредненными как по длине участка измерений, так и по времени измерения,

которое для дрен может составлять  $\geq 12$  ч. При всех отмеченных недостатках этот способ в настоящее время единственный пригодный для массового выполнения гидрологических измерений потоков в дренах.

Полная сводка гидрометрических измерений на дренах представлена в таблице. Можно видеть, что максимальные скорости течения в дренах (дрену Наледную везде исключаем) могут превышать 10 см/с. Модальные значения несколько ниже, но остаются в диапазоне скоростей свободного течения. Эти характеристики дрен не отличаются принципиально от аналогичных характеристик руч. Сухого и других малых поверхностных водотоков в районах исследований в периоды низкой и средней водности. Средние скорости потоков в дренах могут составлять от нескольких сантиметров до долей сантиметра в секунду. Отличие дрен от ручья проявляется в минимальной

Гидроморфометрические характеристики дрен бассейнов рек Падь Васькова и Правая Соколовка (величины уклона в скобках оценены по данным ЦМР SRTM, без скобок – по данным детальной топогеодезической съемки; числитель – наименьшее и наибольшее значение (при единственном измерении – прочерк), знаменатель – среднее)

Дрена	Длина участка измерения, м	Уклон	Площадь водосбора, га	Число измерений	Расход, л/с	Скорость течения, см/с			Площадь сечения, см <sup>2</sup>	
						максимальная	модальная	средняя		минимальная
Объекты в бассейне р. Падь Васькова										
руч. Сухой	30	(0.12)	51	2	– 3.91	10.4–7.6 9.0	7.9–5.4 6.7	7.2–4.6 5.9	2.4–1.2 1.8	– 850
Вафельная 1	151	(0.15)	–	5	4.12–6.32 5.22	13.2–3.4 6.0	4.6–2.7 3.5	3.0–2.0 2.3	1.5–0.7 1.1	2100–2040 2070
Вафельная 2	162	(0.15)	–	2	5.85–7.36 6.61	9.3–6.8 8.0	7.4–5.6 6.5	5.0–3.1 4.1	2.2–0.8 1.5	2360–1170 1770
Марципан	126	(0.24)	–	3	1.51–2.44 1.94	5.9–2.9 4.4	3.7–2.4 3.1	2.9–0.8 2.0	0.6–0.16 0.4	1920–760 1180
Мармеладная	184	(0.24)	–	4	0.504–2.28 1.19	11.3–2.2 5.2	6.9–1.4 3.3	3.4–0.6 1.8	0.6–0.15 0.4	3760–202 1320
Объекты в бассейне р. Правая Соколовка										
Антропоген	10.3	0.240	1.0	15	0.03–6.95 1.26	10.6–1.2 3.8	6.0–0.6 2.2	4.2–0.12 1.0	1.0–0.01 0.2	1650–87 882
Дремучая	70.0	0.233	1.45	11	0.04–1.55 0.25	8.4–0.9 2.7	6.2–0.4 1.6	3.0–0.11 0.7	0.44–0.03 0.13	513–120 263
Безымянная	155.2	0.192	2.8	11	0.15–4.81 1.29	8.5–1.2 3.7	6.6–0.7 2.6	3.9–0.14 1.4	0.69–0.03 0.23	1240–350 594
Ботаническая	108.4	0.261	2.1	7	0.15–1.19 0.48	4.9–2.2 3.1	3.5–1.1 1.9	0.82–0.20 0.44	0.21–0.04 0.11	1490–412 1040
Наледная	6.7	(0.30)	–	1	– 0.11	– 1.0	– 0.14	– 0.04	– 0.01	– 2820

скорости. Окончание ионного паводка в ручье отчетливо выражено и дает минимальную скорость 1–2 см/с. В дренах, напротив, ветвь спада ионного паводка очень пологая, фиксация его окончания ненадежна и дает скорости порядка 0.2–0.002 см/с. Таким образом, поток ручья, хотя и протекает в подрусловых отложениях, но имеет хорошо выработанное и закольматированное русло, даже при низкой водности сохраняя характер свободного течения. Напротив, русла дренах выработаны слабо, их потоки не имеют четких границ и переходят от свободного течения к фильтрационному плавно как по сечению и простиранию, так и при изменениях водности.

Диапазон измеренных в дренах расходов меняется от нескольких сотых долей литра до нескольких литров в секунду, по средним значениям – от 0.25 до 6.61 л/с. Площади поперечного сечения варьируют от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных сантиметров. Несмотря на неполноту и несистематический характер анализируемых данных, они верно отражают существенные отличия дрена бассейна Пади Васькова – длиннее, мощнее и более водообильны – от дрена бассейна Правой Соколовки. Это подтверждается внешними признаками дрена – каменные потоки Пади Васькова крупнее, сложены более крупным обломочным материалом, слабее задернованы и чище промыты. Вероятно, это объясняется различиями геологического строения и возраста рельефа исследуемых бассейнов.

Площади водосборов дрена (таблица) приблизительно оценены по материалам учащенных наблюдений в период экстремального паводка 2016 г. в Приморье, вызванного тайфуном LION-ROCK. Синхронные наблюдения за осадками и стоком указывают на длительный ( $\geq 3$  сут) период так называемого 100%-го стока. Предполагая равенство слоев стокообразования и осадков в этот период, получаем возможность вычислить площади водосборов четырех дрена. Это единственная возможность оценить водосборы дрена, чьи границы не имеют внешних признаков и, вероятно, временами меняют свое положение.

Полученные величины площадей водосборов дрена бассейна р. Правая Соколовка – от 1 до 2.8 га представляются вполне реалистичными. Считая дрена Антропоген нерепрезентативной, можно принять оценку средней площади водосбора дрена в этом районе – 2.0–2.5 га в качестве первого приближения. По площади водосбора рассчитаны модули стока дрена. В частности, максимальный измеренный в период паводка 2016 г. модуль стока составил  $\sim 700$  л/с км<sup>2</sup>, в то время как для малых водотоков его величина достигала  $\sim 400$  л/с км<sup>2</sup>. Соотношение этих величин соответствует общепринятым представлениям о редукции модуля максимального стока по площади, что косвенно

подтверждает принятые величины площадей водосборов.

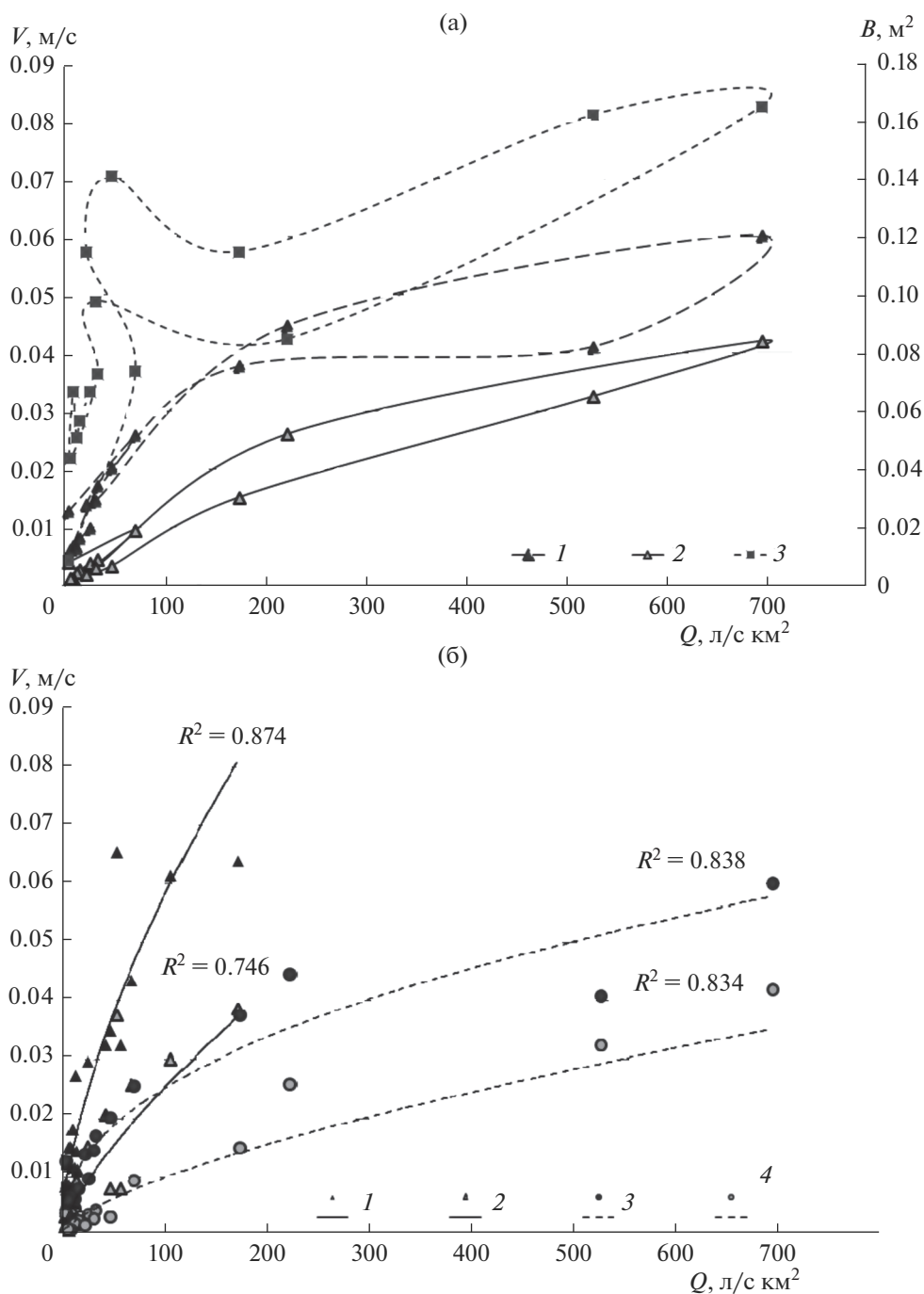
На рис. 4а представлены примеры зависимостей гидрологических характеристик дрена от расходов воды в них, аналогичных так называемым гидроморфометрическим. На фоне прямой связи скоростей и площадей сечения потоков с расходом хорошо выражен гистерезис. В этом отражается эффект промывки дрена в периоды высокой водности, за которыми, очевидно, следуют периоды кольматации при маловодье. Выполненные оценки площадей водосборов четырех дрена (таблица) позволяют выразить эти зависимости через удельные величины расхода и совместить в одной диаграмме. На рис. 4б видно, что зависимости средней и модальной скорости течения от расхода для дрена Дремучей, Безымянной и Ботанической довольно хорошо совмещаются. В то же время специфический характер дрена Антропоген и относительно слабая ее выработанность приводят к тому, что ее зависимости средней и модальной скорости от расхода сильно отличаются от зависимостей для остальных дрена.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Судя по результатам собственных исследований и анализу публикаций, крупные линейно организованные подповерхностные водотоки на склонах широко распространены в среднегорье гумидной зоны и представляют собой форму организации значительной, иногда – основной части склонового стока. Они почти не выражены в рельефе, обычно приурочены к каменным потокам на склонах – курумам, селевым отложениям, зонам дробления различного генезиса, в теле которых формируются протяженные закрытые русла (дрены), заполненные хорошо промытым крупнообломочным каменным материалом без заполнителя. Такие дрена наблюдались преимущественно на склонах, сложенных эффузивными породами.

Дрена устойчиво локализованы и в случаях группового расположения хорошо изолированы друг от друга при отсутствии водоразделов, выраженных морфологически. Протяженность дрена составляет десятки-сотни метров, размеры наиболее крупных попадают в диапазон для первичных элементов речной сети. Выявляются переходные формы, что указывает на возможность генезиса первичных водотоков в результате эволюции крупнейших дрена. Потоки в дренах часто имеют турбулентный характер, причем их гидравлические характеристики (уклоны, скорости течения, расходы, модули стока) в целом близки к характеристикам первичных водотоков в бытовом состоянии.





**Рис. 4.** Примеры гидроморфометрических зависимостей для потоков в дренах (по оси  $X$  – модуль стока, л/с/км<sup>2</sup>): а – “петлеобразные” зависимости модальной (1) и средней (2) скоростей течения, площади сечения (3) потока в дрене Антропоген; б – зависимости модальной (1) и средней (2) скорости потока в дрене Антропоген в сравнении с такими же зависимостями (3, 4) для дрена Безмянной, Ботанической, Дремучей в совокупности.

Наиболее явное отличие гидродинамики потоков дрена от таковых поверхностных водотоков обусловлено относительно слабой выработанностью их русел, из-за чего систематически осуществляется переход от свободного потока к

фильтрационному (по простиранию либо при снижении водности) и обратно. В целом, можно заключить, что дрена образуют целостную сеть склонового масштаба, которая представляет собой специфический компонент дренажной сети

малого речного бассейна и обеспечивает самостоятельный важный этап формирования речного стока.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аржанова В.С., Елпатьевский П.В.* Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 196 с.
2. *Бефани А.Н., Урываев П.А., Бефани Н.Ф., Одрова Т.В., Федорей В.Г.* Экспериментальные исследования дождевого стока в Приморье // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 22. Л.: Гидрометеиздат, 1966. С. 3–123.
3. *Василенко Н.Г.* Гидрология рек зоны БАМ: экспедиционные исследования. СПб.: Нестор-История, 2013. 672 с.
4. *Виноградов Ю.Б.* Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 262 с.
5. *Гарцман Б.И., Шамов В.В.* Натурные исследования стокоформирования в Дальневосточном регионе на основе современных средств наблюдений // Вод. ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 589–599.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000. Лист (L-(52), 53; (K-52, 53) – оз. Ханка. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 684 с.
7. *Жильцов А.С.* Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. Владивосток: Дальнаука, 2008. 332 с.
8. *Карасёв И.Ф., Шумков И.Г.* Гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 384 с.
9. *Кичигина Н.В., Губарева Т.С., Шамов В.В., Гарцман Б.И.* Трассерные исследования формирования речного стока в бассейне озера Байкал // География и природ. ресурсы. 2016. № S5. С. 60–69.
10. *Михайлов В.М.* Пойменные талики Северо-Востока России. Новосибирск: Гео, 2013. 244 с.
11. *Полунин Г.В.* Динамика и прогноз экзогенных процессов. М.: Наука, 1989. 230 с.
12. *Тарбеева А.М., Гарцман Б.И.* Морфогенез первичных звеньев гидрографической сети: натурные исследования в Центральном Сихотэ-Алине // География и природ. ресурсы. 2017. № 4. С. 114–121.
13. Триас и юра Сихотэ-Алиня. Кн. 1. Терригенный комплекс / Под ред. П.В. Маркевича, Ю.Д. Захарова. Владивосток: Дальнаука, 2004. 417 с.
14. *Angermann L., Jackisch C., Allroggen N., Sprenger M., Zehe E., Tronicke J., Weiler M., Blume T.* Form and function in hillslope hydrology: characterization of subsurface flow based on response observations // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2017. V. 21. P. 3727–3748. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3727-2017>
15. *Brutsaert W.* Hydrology: An Introduction. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2005. 605 p.
16. *Pierce A.J., Stewart M.K., Sklash M.G.* Storm runoff generation in humid headwater catchments. 1. Where does the water come from? // Water Res. Res. 1986. V. 22. № 8. P. 1263–1272.
17. *Tromp-van Meerveld H.J., McDonnell J.J.* Threshold relations in subsurface stormflow: 2. The fill and spill hypothesis // Water Res. Res. V. 42. W02411. <https://doi.org/10.1029/2004WR003800>
18. *Uchida T., Tromp-van Meerveld, McDonnell J.J.* The role of lateral pipeflow in hillslope runoff response: an intercomparison of non-linear hillslope response // J. Hydrol. 2005. № 311. P. 117–133.
19. *Vigna B., Banzato C.* The hydrogeology of high-mountain carbonate areas: an example of some Alpine systems in southern Piedmont (Italy) // Environ. Earth Sci. 2015. № 74. P. 267–280.