

УДК 556.1

МНОГОЛЕТНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЗАПАДИН ЮГА ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ¹

© 2015 г. С.Г. Копысов

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Томский государственный университет, Россия
e-mail: wosypok@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.04.2014 г.

Рассматриваются причины и условия формирования западин, приводится их гидрологическая типизация. Моделируется многолетняя изменчивость гидрологического режима, свойственная западинному рельефу. Показано, что водный режим западин определяется всей совокупностью факторов формирования стока. Делаются выводы об особой роли воронкообразных западин в пении грунтовых вод.

Ключевые слова: водный баланс, западины, геоморфометрия, метод ГКР.

Введение. Для Западно-Сибирской низменности характерен плоский и плоско-западинный типы рельефа. В качестве почвообразующих пород на значительной части рассматриваемой территории выступают покровные лёссовидные суглинки различной мощности [13]. Им свойственна просадочность, которая формируется, по мнению Е.М. Сергеева и А.В. Минервина [11], в результате циклического сезонного промерзания-оттаивания исходных пылеватых пород.

Изучение гидрологического режима и структуры водного баланса территорий с западинным рельефом является ключом к пониманию процессов перераспределения влаги и почвообразования в западинах.

Причины возникновения и развития западинного рельефа. В начале четвертичного периода в центральной части Западно-Сибирской низменности возник обширный Западно-Сибирский водоем, воды которого сливались на юг через Тургайский пролив [8]. Предполагается, что уровень воды в водоеме изменялся от 140 до 100 м над современным уровнем моря. Таким образом, на значительной части рассматриваемой территории Западной Сибири в недалеком прошлом сформировался пойменный рельеф в виде: а) озерно-плавневой поймы, которая образуется в местах впадения реки в озеро, где река отлагает наносы и образует низкие острова с озерами и болотами [5]; б) лиманной поймы – системы замкнутых

депрессий, образующихся при протекании реки по низким ровным участкам, когда сила потока (уклон местности) оказывается недостаточной для глубокого вреза русла и поток в половодье затопляет прилегающие участки местности [5]. Подобное происхождение предполагалось В.В. Докучаевым [4] для исследованных им замкнутых блюдцев украинских степей.

То, что исследуемая нами территория в свое время представляла пойму, подтверждается результатами микробиоморфных исследований Д.А. Гаврилова и А.А. Гольевой [2], установивших, что вторые гумусовые горизонты представляют собой реликты пойменного почвообразования, а их генезис связан с улучшением дренируемости территории вследствие углубления речной сети.

В голоцене основными причинами развития замкнутых депрессий – западин послужили суффозионно-просадочные процессы, обусловленные уплотнением и вымыванием гидрокарбонатов по вертикальным макропорам за счет собираемой понижением воды. В настоящее время считается [11], что большая часть макропор представляет собой своеобразные магистральные каналы, образовавшиеся в результате преимущественно вертикальной миграции воды и газов.

По данным, представленным в работе В.А. Хмёлева и В.В. Давыдова [13], можно вычислить, что за счет уменьшения объемного веса почва в западинах уплотняется на 12 см с каждого метра. Еще на 15 см почва может оседать за счет полного вымывания гидрокарбонатов из верхнего метрового слоя и по 4 см из каждого нижележащего метра

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-05-10032, № 12-04-01154-а и № 14-05-00700).

материнской породы за счет частичного их вымывания. Таким образом, уплотнение почвы и вымывание гидрокарбонатов может привести к образованию понижения глубиной до $12+15 = 27$ см с верхнего метрового слоя и $12+4 = 16$ см с каждого последующего метра материнской лёссовой породы.

Значит, для образования суффозионно-просадочными процессами западины глубиной 120 см необходимо, чтобы уплотнению и частичному вымыванию гидрокарбонатов было подвергнуто 6 м материнской породы лёссовидных суглинков. Если исходить из экспоненциального убывания данных процессов, то изменение должно наблюдаться на еще большей глубине, до своего теоретического предела, определяемого мощностью залегания лёссовидных суглинков.

Таким образом, ключевой причиной широкого распространения западин, в виде замкнутых понижений, на юге таежной зоны Западной Сибири являются гидролого-климатические условия, наложенные на пойменный рельеф прошлого. В отдельных случаях размер и форма западин могут быть обусловленными и более древними особенностями рельефа, перекрытых четвертичными озерно-аллювиальными отложениями. Например, по данным, полученным А.С. Рябченковым [14] для Центрально-Черноземных областей, выяснилось, что впадины блюдцев (западины) представляют унаследованные формы, повторяющие в сильно смягченном виде форму более глубокой впадины, выработанной на первичном плато какими-то процессами в верхних горизонтах грунта.

Методологический подход к изучению гидрологических условий в западинах. Как уже указывалось выше, рост западин обусловлен притоком воды в них с окружающей территории. Для расчета водного баланса западин и притока к ним с водосбора наиболее пригоден метод гидролого-климатических расчетов (ГКР) проф. В.С. Мезенцева [9]. Система уравнений метода ГКР учитывает при расчетах гидролого-климатических характеристик перераспределение влаги внутри года и переход части влаги с одного года на другой, т. е. представляет собой математическую модель процессов преобразования влаги на уровне деятельной поверхности водосборов. Основанный на фундаментальных законах сохранения энергии и материи, метод ГКР для расчета испарения является генетическим [10, с. 88].

В данном методе испарение определяется теплоэнергетическими ресурсами испарения Z_M , суммарным увлажнением деятельной поверхно-

сти (H), состоящим из суммы исправленных атмосферных осадков (X) и изменения влажности деятельного слоя за расчетный период ($W_1 - W_2$). При этом формула для расчета испарения записывается в виде следующего уравнения [9, 10]:

$$Z = Z_M \left[1 + \left(\frac{H}{Z_M} \right)^{-rn} \right]^{-1/n}, \quad (1)$$

где параметр n отражает влияние физико-географических факторов (ландшафтных условий) на процессы испарения и стока и призван учитывать гидравлические условия формирования стока [9]; параметр r характеризует способность почвогрунта подводить влагу к испаряющей поверхности и расходовать ее на испарение, при этом он зависит от механического состава и засоленности деятельного слоя.

Основной причиной переувлажнения микропонижений (западин) является постоянное преобладание ресурсов влаги над ресурсами тепла в определенных геоморфологических условиях. Суммарное увлажнение западины дополнительно включает в себя суммарный приток воды с водосбора и приток грунтовой воды [10]:

$$H = X + W_1 - W_2 + G + \frac{Y \cdot F}{f}, \quad (2)$$

где F – площадь водосбора западины; f – площадь ядра западины; Y – величина местного суммарного стока, рассчитанная по климатическим данным для случая глубокого залегания грунтовых вод (при $G = 0$).

При наличии топографической съемки значение параметра ландшафтных условий рассчитывается по формуле [7]:

$$n = 2.5 + 0.22 \cdot \ln \frac{L_{\text{скл}}}{\sqrt{i}}, \quad (3)$$

где $L_{\text{скл}}$ – средняя длина склона, км; i – средний уклон, м/м.

Необходимо отметить, что исходные данные измеренных климатических величин представляют собой их векторы в точках пространства, выбранных случайно и часто нерепрезентативно [6]. Поэтому получаемые на их основе модельные ряды также представляют собой ряды векторных величин, характеризующих направленность природных процессов. Кроме того, что результаты моделирования во многом определяются точностью задания различных коэффициентов и параметров, используемых моделью. Поэтому представленное исследование направлено на качественное, а не точное количественное описание гидрологического режима конкретной территории.

Таблица. Гидрологическая типизация западин

Тип западины, ее профиль и обозначение	Характеристики ядра западины			
	относительная площадь ядра	отношение площади водосбора западины к площади ее ядра	параметр водно-физических свойств	параметр ландшафтных условий стока
Воронкообразная (<i>VZ</i>)	0.03–0.06	$30 < F/f \leq 15$	$2 < r \leq 2.4$	$n \leq 2.8$
Переходная (<i>PZ</i>)	0.07–0.14	$15 < F/f \leq 8$	$2.4 < r \leq 2.8$	$2.8 < n \leq 3.2$
Плоскодонная (<i>SZ</i>)	0.15–0.2	$8 < F/f \leq 3$	$2.8 < r \leq 3.5$	$n > 3.2$

Ландшафтно-геоморфологические условия. Западины в плане обычно более или менее округлы или овальные. Как правило, они представляют собой очень плоские впадины, днища которых от центральной, наиболее пониженной точки постепенно повышаются к краям и часто незаметно, без выраженной бровки, сливаются с окружающей равниной. Реже встречаются блюдца с почти плоским дном, которое только близ краев сравнительно круто повышается, так что блюдце приобретает скорее форму сковороды [14]. Западины первого типа будем называть воронкообразными, а второго типа – плоскодонными.

Форма и размер западин определяются, с одной стороны, условиями возникновения локального понижения и степенью его переувлажнения (зависит от площади водосбора западины и метелевого переноса снега), а с другой стороны, мощностью и гранулометрическим составом лёссовой толщи и особенностями покрываемого ей рельефа.

По мере развития западины, благодаря возрастающему застою воды в ее центральной плоской части, способствующему процессу суффозии, происходит относительное увеличение площади ядра по отношению к общей площади западины (таблица), т.е. происходит увеличение площади возможного очага заболачивания. Застаивание воды на поверхности вызывается уменьшением активной пористости вследствие уплотнения и закупорки пор илистым материалом.

По мере ухудшения дренированности территории наблюдается переход от воронкообразных западин (*VZ*) с минеральной почвой в ядре к переходным западинам (*PZ*) с перегнойно-минеральными почвами и плоскодонным западинам (*SZ*) с торфяной почвой в центре западины. В процессе торфонакопления величина параметра ландшафтных условий стока может уменьшаться, но не выходит за пределы потенциального заболачивания, т.е. $n > 3.2$.

Увеличение относительной площади ядра западины сопровождается снижением интенсивности

суффозионных процессов в результате уменьшения удельной проточности, характеризуемой слоем пополнения грунтовых вод. При этом наблюдается снижение величины коэффициентов фильтрации, а зоны наибольшей фильтрации (пополнения запасов грунтовых вод) смещаются от центра к бортам. Указанные процессы сопровождаются аккумуляцией влаги и увеличением ее расхода на испарение.

Гидрологический режим западин. Об огромной роли западин в гидрологическом режиме известно еще из первых работ В.В. Докучаева [4] и его учеников [2]. Считается, что роль различных микрорельефных образований наиболее резко проявляется в тех случаях, когда какой-либо элемент климата (тепло, осадки) находится в минимуме. Так, в зонах недостаточного увлажнения всякое самое незначительное понижение поверхности обуславливает более обильное увлажнение почвы по сравнению с соседними повышенными участками за счет стекания с них дождевых вод в понижение [4, 14].

Длительному переувлажнению способствует приток воды с водосбора западины и, как результат, образующаяся почвенно-грунтовая верховодка, глубина залегания которой понижается в течение вегетационного периода. В западинах Обь-Шегарского междуречья вода застаивается на поверхности до конца мая, а иногда (в более влажные годы) до середины июня [13].

На рисунке 1 видно, что в летне-осенний период влагосодержание метрового слоя воронкообразных западин (*VZ*) ниже влагосодержания в плоскодонных западинах (*SZ*). Самые низкие значения влажности характерны для водоразделов (*WR*) – открытых повышений между западинами. В тех частях западин, где наблюдается контрастный гидрологический режим, не может сформироваться какой-либо определенный тип напочвенного растительного покрова, что очень ярко проявляется в воронкообразных западинах.

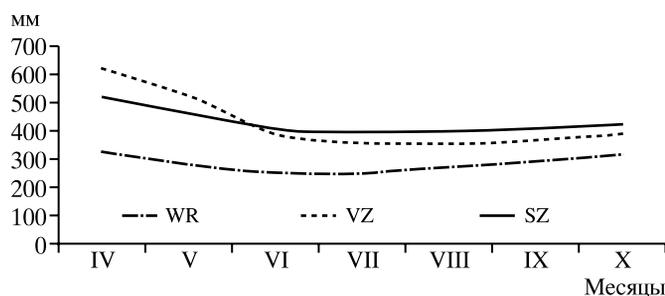


Рис. 1. Среднегодовое внутригодовое распределение влагосодержания метрового слоя, мм

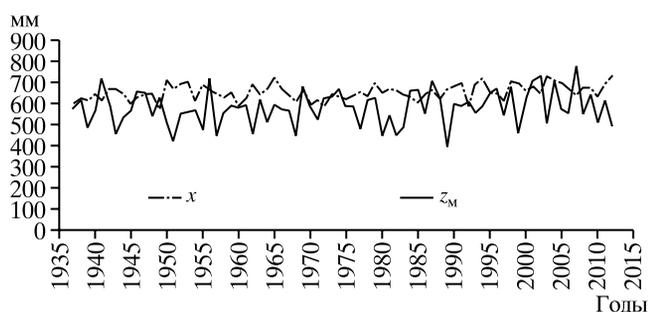


Рис. 2. Многолетний ход исправленных осадков (мм) и теплоэнергетических ресурсов испарения, мм

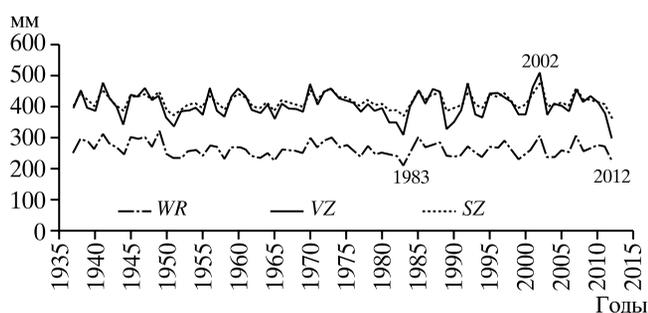


Рис. 3. Многолетний ход средней (май–август) влажности метрового слоя, мм

Перераспределение осадков обуславливается пространственно-временным различием влагосодержания почвогрунтов и сдуванием снега с открытых водоразделов в понижения – западины, что также увеличивает неравномерность схода снежного покрова.

На первый взгляд, если за воднобалансовый год осадков выпало больше, то и почвы будут более влажные, и сток воды возрастет. Но это не всегда так. Например, по данным ГМС Томск за период с 1936 по 2012 гг. наибольшее количество осадков (больше нормы на 34%) отмечалось в 2006–2007 воднобалансовом году, а результаты моделирования на основе метода гидролого-климатических расчетов (ГКР) показывают, что наибольший

климатический сток был сформирован в 2002 г., тогда же отмечалась наибольшая влажность в западинах. Примечательно, что на водораздельных участках максимальная влажность была в 1949 г. (при осадках больше нормы на 8%, но минимальных теплоэнергетических ресурсах испарения – на 23% меньше нормы). Несоответствие в многолетнем разрезе пиков влажности в западинах и на водоразделах объясняется выдуванием зимних осадков в понижения и различиями в уровне осеннего увлажнения почвы.

Приведенный пример показывает, что в разные годы определяющим является не какой-либо один стокоформирующий фактор, а их совокупность, учитываемая в рамках генетической модели стока (метод ГКР). Нелинейность гидрологических процессов следует из самого уравнения водного баланса участка суши, своей структурой указывающего на то, что количество влаги в почвенном покрове определяется не только количеством выпадающих атмосферных осадков, но и их расходом на сток и испарение [10].

Многолетний ход исправленных осадков (X) и теплоэнергетических ресурсов испарения (Z_M) за водно-балансовый год (рис. 2) был вычислен на основе данных ГМС Томск, взятых из специализированных массивов для климатических исследований (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>). На основе этих данных по вышеизложенной методике был смоделирован многолетний ход относительный влажности деятельного слоя (рис. 3).

Нелинейность, свойственная природным процессам, сглаживает амплитуды колебаний увлажнения как в многолетнем, так и внутригодовом разрезе. За счет ландшафтных особенностей формирования стока воды в плоскодонных западинах наблюдается наиболее стабильный гидрологический режим, способствующий заболачиванию, а в воронкообразных – наиболее контрастный режим увлажнения. Воронкообразные западины являются также зонами активного пополнения запасов поземных вод по макропорам.

Наиболее засушливыми являются те года, перед которыми в течение двух и более лет наблюдались осадки в пределах нормы, а затем вместо необходимого влажного воднобалансового года последовал год с осадками ниже среднего при теплоэнергетических ресурсах испарения близких к норме и выше. В 2011–2012 воднобалансовом году теплоэнергетические ресурсы испарения были на 13% выше нормы.

Плоский рельеф широких водоразделов, избыточных местными понижениями, задерживающими избыток талых и ливневых вод, устраняет

возникновение и развитие овражной и плоскостной эрозии [1]. Развитие западин способствует перераспределению влаги в течение года и должно приводить к росту межлетних расходов за счет сокращения стока половодья. Такие ландшафтные изменения физически объясняют выявленное Ю.А. Харанжевской [12] статистически значимое увеличение слоя стока в январе–марте на средних реках южно-таежной подзоны Западной Сибири.

Заключение. Предлагаемая гидрологическая типизация западин позволяет на основе метода гидролого-климатических расчетов моделировать многолетнюю динамику увлажненности различных типов западин. Так, за счет ландшафтных особенностей формирования стока воды в плоскодонных западинах наблюдается наиболее стабильный гидрологический режим, способствующий заболачиванию. В то же время в воронкообразных западинах формируется наиболее контрастный режим увлажнения, не позволяющий сформироваться какому-либо определенному типу напочвенного растительного покрова.

Западинный рельеф юга таежной зоны Западной Сибири сглаживает межгодовые и внутригодовые колебания увлажненности деятельного слоя, что обеспечивает устойчивое биоразнообразие данной территории. Несоответствие в многолетнем разрезе пиков влажности в западинах и на водоразделах объясняется выдуванием зимних осадков в понижения и различиями в уровне осеннего увлажнения почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агролесомелиорация. М.: Гос. изд-во сельхозлит, 1959. 504 с.
2. *Высоцкий Г.Н.* Гидроклиматическое, метеорологическое и почвообразующее значение леса // Избр. труды. М.: Сельхозгиз, 1960. С. 125–294.
3. *Гаврилов Д.А., Гольева А.А.* Микробиоморфное исследование почв со вторым гумусовым горизонтом южно-таежной подзоны Западной Сибири // Вестн. ТомГУ. Биология. 2014. № 2 (26). С. 5–22.
4. *Докучаев В.В.* Устройство поверхности и воды наших степей // Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, 1949. С. 349–365.
5. *Каменсков Ю.И.* Руслые и пойменные процессы. Томск: Изд-во ТомГУ, 1987. 171 с.
6. *Карнацевич И.В., Бикбулатов Г.Г., Ряполов К.В.* Перспективы генетического метода расчета элементарного стока по суточным интервалам // Омский науч. вестник. 2011. № 1 (104). С. 224–231.
7. *Копысов С.Г.* Параметрический учет ландшафтных условий стока в методе гидролого-климатических расчетов // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 157–161.
8. *Линдберг Г.У.* Крупные планетарные колебания уровня океана и палеогеография четвертичного периода // Основные пробл. изуч. четвертич. периода. М.: Наука, 1965. С. 135–142.
9. *Мезенцев В.С., Карнацевич И.В.* Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 168 с.
10. *Мезенцева О.В.* Географические закономерности зоны оптимальных гидролого-климатических условий для аграрного природопользования (на примере Западной Сибири): Дис. докт. геогр. наук. Томск: ТомГУ, 2010. 285 с.
11. *Соколов В.Н.* Проблема лёссов // Соровский образовательный журнал. 1996. № 9. С. 86–93.
12. *Харанжевская Ю.А.* Водный баланс водосборов средних рек южно-таежной подзоны Западной Сибири и многолетние изменения его элементов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 6. С. 84–91.
13. *Хмельёв В.А., Давыдов В.В.* Генезис и эколого-хозяйственные свойства почв лесостепи Томского Приобья // Проблемы региональной экологии. Томск: Красное знамя, 1995. Вып. 4. 144 с.
14. *Щукин И.С.* Общая геоморфология. Т. II. М.: Изд-во МГУ, 1964. 564 с.

Long-Time Hydrological Regime of the Local Depressions of the Southern Taiga Zone of Western Siberia

S.G. Kopysov

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
e-mail: wosypok@mail.ru*

The factors and conditions for formation of local depressions are considered. The hydrological typology of depressions is given. Long-time variability of the hydrological regime, peculiar to the depressions relief, is simulated. It is shown that the depressions water regime is defined by the total set of factors of runoff formation. Conclusions about a specific role of the cone-shaped depressions for groundwater recharge are drawn.

Keywords: wates balance, soil downgrading, geomorphometry, HCC method.

doi: 10.15356/0373-2444-2015-5-130-134