

УДК 556.166.4

## ЛАНДШАФТЫ НАВОДНЕНИЙ С КРИТИЧЕСКИМИ КОМПОНЕНТАМИ НЕУСТОЙЧИВОГО РАВНОВЕСИЯ

Напрасников А.Т.

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: r.kodar@mail.ru*

В статье наводнения впервые обосновываются как мультипликативные географические системы с квазиустойчивым равновесием и с потенциалом критических компонентов. К критическим явлениям отнесены не только избытки влаги, тепла, но и свойства самих ландшафтов. Ими являются размеры, емкости, ограничивающие водовмещающие свойства: понижения, барьеры, а также превышающие их притоки воды из гидрогеологических горизонтов, подмерзлотных таликов. В июле-августе в долинах рек протаивают прослойки многолетней мерзлоты, и из подземных резервуаров изливаются воды в русла рек, увеличивают их сток и повышают возможность формирования наводнений. Подобных регулярных и случайных событий множество. Они становятся составляющими серии геосистем – ландшафтов наводнения. Проявляется опасность не только от водной стихии, но и от самого ландшафта с его критическими свойствами. Более того, последовательные продвижения излившихся водных масс поступательно или мгновенно увеличивают его площадь. Новый мультипликативный ландшафт становится «подвижным», опасным для элементов окружающих сред. Подобные ландшафты имеют двойственную природу – естественную, со «спящим» потенциалом критических компонентов и постоянно увеличивающую площадь с «пробужденной» кинетической энергией. Возникает необходимость применения мультипрограммирования – метода последовательного и одновременного выполнения расчетов водного и энергетического балансов естественных ландшафтов до наводнений и последующих расчетов во время наводнения. С учетом данных положений рассчитан баланс тепла и влаги ландшафтов Иркутско-Черемховской равнины и местоположений городов Тулун, Нижнеудинск и Зима, максимально пострадавших от наводнений. Обозначились критические компоненты как самих ландшафтов, так и элементов их водного и энергетического балансов. Одним из них оказалась естественная влажность почвогрунтов – свободная емкость, не занятая водой. Если скважность достигает полной влагоемкости (ПВ) почв, на ее поверхности формируется слой воды, предвестник наводнений. Этот процесс явился одним из главных критических для элементов водного баланса наводнений. Приведенные положения определяют необходимость создания на равнине единой мелиоративной системы.

**Ключевые слова:** Иркутско-Черемховская равнина, ландшафты, катастрофическое наводнение, критические компоненты, элементы водного и энергетического баланса

## FLOOD LANDSCAPES WITH CRITICAL COMPONENTS OF UNSTABLE EQUILIBRIUM

Напрасников А.Т.

*V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: r.kodar@mail.ru*

For the first time, floods are substantiated as multiplicative geographical systems with a quasi-stable equilibrium and with the potential of critical components. Not only excess moisture and heat but also the properties of landscapes themselves are assigned to critical phenomena. These include the size, the capacities limiting the water-bearing properties, such as declines and barriers, as well as the inflows of water exceeding them arriving from hydrogeological horizons, subpermafrost taliks. In July–August, permafrost interlayers in the river valleys are thawing. Subterranean reservoirs discharge the waters to the river channels thus increasing their flow and the possibility for flood formation. There occur a great number of such regular and occasional events. They become components of the series of geosystems, i. e. flood landscapes. Not only the water-related hazard but also the landscape itself with its critical properties present a threat. Successive advances of the water masses discharged sequentially or instantaneously increase their area. The new multiplicative landscape becomes «mobile» and dangerous for environmental elements. Landscapes of this kind have a dual nature: natural, with a «dormant» potential of critical components, and a steadily increasing area with the «awakened» kinetic energy. It becomes necessary to use multiprogramming implying the method of consecutive and simultaneous calculations of the water and energy balances of natural landscapes at the time of flooding. These principles were used to calculate the heat and moisture balance of the landscapes of the Irkutsk–Cheremkhovo plan and the location of the cities of Tulun, Nizhneudinsk and Zima which were most severely affected by floods. Critical components of the landscapes themselves, and also the elements of their water and energy balances have been identified. Among them was the natural humidity of soil-ground, a vacant capacity not occupied by water. If porosity reaches total moisture capacity of soils, its surface develops a water layer as the precursor of floods. This process was one of the critical processes for the elements of the water balance of floods. The statements made above dictate a need to create on the plain a unified melioration system.

**Keywords:** Irkutsk-Cheremkhovo plain, landscapes, catastrophic flood, critical components, water and energy balance elements

Традиционно наводнения анализируются не как отдельные кратковременные явления, а как динамические геосистемы, вмещающие их. При этом общепринятое единство содержания и функционирования

в одном объекте нарушается. В связи с этим в работе анализируются «ландшафты наводнений» топологической и региональной размерности, с критическими компонентами неустойчивого равновесия. Возникли

проблемы определения, управления, нейтрализации и обоснования соответствующих методов борьбы с ними. Трудности реально обозначились в связи с катастрофическими наводнениями в Иркутско-Черемховской равнине в 1919 г. и сложностью их реального отображения классическими методами.

Академик В.Б. Сочава [1] характеризовал критические компоненты геосистем как определяющие энергетику, преобразующие и стабилизирующие их динамику. Это в полной мере соответствует содержанию наводнений, которые аккумулируют воду в ограниченных земных пространствах, нарушают структуры и режимы прежних естественных систем, а впоследствии масса-энергетический потенциал местного климата и ландшафта выравнивает их неравновесное состояние.

Данные обстоятельства определили цель исследований – анализ ландшафтов наводнений с критическими компонентами, с неравновесной динамикой водных масс.

Природа наводнений оказывается двойственной и дополнительно усложняется тем, что их динамика на земной поверхности сопровождается ростом последовательного приращения площадей наводнений. Это особое географическое динамическое явление со своим объектом и функционированием, общность определяется мультипликативными свойствами ландшафтов наводнения.

Логично прослеживается разделение функций: атмосфера приносит влагу и тепло, ландшафт перераспределяет, формирует их естественные и критические состояния. Естественные состояния являются системно формирующими, критические – преобразующими. Вода, вырвавшаяся из ландшафта, остается его частью, динамическим и пространственным продолжением, расширяющим и формирующим новую геосистему – ландшафты наводнений. К ним можно отнести геосистемы редуцированного развития – с большим недостатком тепла и избытком влаги, ограниченного – с умеренными различиями тепла и влаги и оптимального развития с их эквивалентным равенством, когда система находится ближе к естественному состоянию. Но при этом оптимальное состояние является крайне критическим, за ним следует переувлажнение.

Эти многофакторные геосистемы сложно выразить единым определением, единой формулой. Необходимо их логическое обоснование. Наводнения возможно опи-

сать статистическими приемами, оценить в практических целях коэффициентами корреляции и уровнями значимости. Но они не определяют весь механизм развития наводнений. Следует применять ландшафтные характеристики.

Водные и энергетические состояния наводнений постоянно находятся в квазиустойчивом равновесии. Любое дополнительное количество влаги может создать наводнение от обычного разлива речных вод до катастрофического. Или, наоборот, избыток тепла может в виде испарения ликвидировать опасность любого наводнения. Исследования показали, что в Иркутско-Черемховской равнине почво-грунты оптимально увлажнены и практически не нуждаются в гидротехнической мелиорации [2, 3]. Вместе с этим оптимальное увлажнение является крайне критическим, за ним следует процесс переувлажнения, а в почво-грунтах накапливаются гравитационные воды и, достигая полной влагоемкости (ПВ), формируют на поверхностях слой воды [4]. Поэтому ряд ландшафтов Иркутско-Черемховской равнины имеют потенциальные свойства формирования наводнений. Данный факт определил вектор исследований ландшафтов наводнений – водного и энергетического баланса, потребовал обоснования мер их нейтрализации. Следует учитывать, что ряд естественных ландшафтов выполняют функции обычных природных систем, но имеют и критические состояния. Это предельные водные емкости почво-грунтов, геоморфологические уровни понижений, высоты увалов-барьеров и т.д. При их изменении потенциально неравновесная геосистема становится опасной для окружающей среды.

Движущаяся опасная водная стихия порождает внешние и внутренние критические компоненты географической оболочки. Ими являются: предельно максимальный для ландшафта приток атмосферных осадков, максимальный сток вод любого происхождения, влажность и влагоемкость почво-грунтов. Парадоксальным явлением критических наводнений в 2019 г. в Иркутско-Черемховской равнине следует считать фон установившегося высокого давления в Байкальском регионе. При данных условиях ограничивается поступление в регион атмосферных осадков, снижается сток рек и, соответственно, уменьшается возможность формирования наводнений, тем более катастрофических. Подобные факторы отмечены в работах [5–7]. Иными словами,

количество атмосферных осадков уменьшается, а критические наводнения в регионе регулярно проявляются.

Метастабильные ландшафты наводнений двойственные. Водные массы обладают свойством пребывать какое-то время в состоянии равновесия, после чего при внешнем воздействии, например при мощных ливнях или интенсивном горном стоке, мгновенно приходят в стремительные необратимые движения. Освободившись от слоя воды, но сохранив влажность почв на уровне полной влагоемкости (ПВ), почво-грунты способны заново накапливать поверхностные воды, затем их сбрасывать и снова формировать наводнения. Данный факт стал вектором обоснования понятия «ландшафты наводнения».

Специфика обоснования ландшафтов учитывает переход от естественных состояний природной системы к их критическим значениям. В условиях выхода водных масс из ландшафта на смежные территории следует оценивать состояние и функции уже измененных в пространстве систем. Проблема сводится к обоснованию многократно приращиваемых площадей наводнений. Это уже мультипликативные «движущие» природные системы, преобразующие все на своем пути.

Отечественная наука способна решать поставленные задачи. Был использован метод гидролого-климатических расчетов, дополненный ландшафтными закономерностями. С учетом этого автором разработан ландшафтный метод гидролого-климатических расчетов наводнений [4].

Информационную базу составили теоретические труды В.С. Мезенцева, А.А. Григорьева, В.Б. Сочавы, наблюдения метеорологических станций, гидрологических постов. Учитывались и геоморфологические характеристики земной поверхности. Такими были орографические понижения у основания Восточных Саян, концентрирующие огромные массы воды. Придя в движение, они расширяют площади наводнений, разрушают смежные территории, поселения и города. Особенно информационными оказались описание наводнения в 2019 г. в г. Тулуне [8], где проявился быстрый подъем воды, а также методические подходы ученых в приведенных работах [9, 10].

В Иркутско-Черемховской равнине в июне и июле 2019 г. отмечена серия катастрофических наводнений. Они и раньше происходили, но такого разрушительного

эффекта не наблюдалось. Современный анализ распределения атмосферных осадков, стока рек и влажности почв в границах бассейнов равнины позволил выявить, что наводнения в основном являются следствием концентрации вод в низинах холмистовалистого рельефа территории [10]. Схема расчетов элементов водного и энергетического балансов наводнений сводилась к обоснованию преобразований естественных геосистем в ландшафты наводнений. До наводнения водным балансом в природных системах определялись влажность и остаточная водная емкость (скважность) в метровом слое почво-грунтов. С их учетом уже в условиях наводнения рассчитывался слой воды в достаточно увлажненных почво-грунтах или на их водных поверхностях. Далее вносились поправки, так как атмосферные осадки с увалов стекали в понижения и составляли 25% в пределах равнины. Поэтому общая концентрация водных масс наводнения в понижениях увеличивалась в 4 раза. Данное соотношение на склонах, не концентрирующих ливневые воды, равно 1, а на вертикальных стенках – меньше 1. Показательными параметрами водного баланса ландшафтов наводнения, кроме осадков и стока рек, являются влажность почв ( $V$ ) в долях наименьшей влагоемкости (НВ). Ее средние месячные арифметические значения за все периоды метеорологических наблюдений для станций Тулун, Нижнеудинск, Зима и Иркутск изменяются незначительно: в июне  $V = 0,78-0,82$ ; в июле  $V = 0,82-0,91$ ; в августе  $V = 0,81-0,93$ . Стандартные отклонения в среднем составили 0,18–0,22. Приблизительно каждый второй год влажность почво-грунтов превышает НВ, и в них накапливаются гравитационные воды. Это уже инвариантные свойства почво-грунтов, формирующихся наводнения в Иркутско-Черемховской равнине (таблица). Отрицательные значения ( $\Delta X$ ) в таблице показывают, сколько воды необходимо для создания в почво-грунтах полной влагоемкости (ПВ) и, следовательно, возможность последующего накопления воды на их поверхностях. В скобках приведены стандартные отклонения.

Количество атмосферных осадков в июне небольшое, обеспечивающее минимальное количество наводнений. Их максимум проявляется в июле. Юг региона относится к областям криолитозоны с прерывистой мерзлотой. В долинах рек в конце июля и начале августа мерзлая прослойка полностью протаивает, и весь дея-

тельный слой почв с гидрогеологическим горизонтом поглощает избыточную воду, нейтрализует формирование наводнений. Но проявляется и обратный эффект – мощное излияние вод подмерзлотных таликов в русла рек, что обеспечивает условия формирования наводнений. Двойные функции осадков, почв и глубинных вод являются следствием превышения критических значений НВ почво-грунтов, а водный и энергетический балансы увеличивают их случайные эффекты. В условиях последовательного формирования водного и энергетического балансов от естественных природных систем до сформировавшихся наводнений прослеживаются как накопленные критических масс и энергий, так и взаимная нейтрализация. Поэтому при решении проблем наводнений следует учитывать критические компоненты.

Пониженные участки рельефа Иркутско-Черемховской равнины находятся в пределах 500–560 м абсолютных высот и могут сформировать множество локальных водоемов слоем воды 50–100 см. Это аккумулятивный критический потенциал начального проявления наводнений, при котором все локальные подпрудные водоемы объединяются и создают единую движущую силу водных масс. Их не могут пропустить суженные русла рек у подножья северных нагорий. Они не обеспечивают быстрый отток избыточных вод, что и формирует наводнения.

В таблице показаны максимальные критические компоненты – атмосферные осадки – наибольшие месячные 2%-ной обеспеченности. Суточные максимумы ливней имеют такую же обеспеченность, но увеличены в 3 раза. Им соответствуют и рассчитанные максимальные слои воды на поверхностях почв, более приближенные к реальным высотам прошедших наводнений. Следует подчеркнуть, что все перечисленные явления происходят внутри ландшафта, им же и координируются.

Таким образом, ландшафты наводнений формируются под воздействием климата, определяются геолого-гидрологической поверхностью самого ландшафта с равенством водных и тепловых ресурсов. В этих наводнениях данное равенство нарушается исключительно мощным притоком атмосферной влаги, стоком рек или иным источником воды. Их потенциал не может поглотить или нейтрализовать естественную емкость почв, равную скважности. Эти природные системы подавляют экстремумы климата, ресурсы влаги и тепла окружающей среды. Они усиливаются самими ландшафтами, их неровными формами рельефа, перераспределяющими воду равнины и концентрирующими ее в низинах. Иными словами, ландшафт с критическими компонентами осуществляет функции наводнения. В конечном итоге определение «ландшафты наводнений» приобретает особый смысл.

Влажность почво-грунтов (V) на станциях Тулун, Нижнеудинск и Зима до наводнения и слой воды ( $\Delta X$ , мм) в пониженных частях рельефа

Тулун									
Месяц	Июнь			Июль			Август		
Парам.	X	V	$\Delta X$	X	V	$\Delta X$	X	V	$\Delta X$
. – $\Delta X$	45,6(15)	0,67(0,12)	–252	56,5(18)	0,67(0,13)	–203	50(38)	0,64(0,08)	–142
$V \leq 1,0$	51,9(19)	0,72(0,14)	–184	71,7(26)	0,76(0,15)	–56	64,7(27)	0,78(0,13)	72
$V \geq 1,0$	68,6(27)	1,07(0,1)	367	112(73)	1,12(0,12)	569	96(37)	1,12(0,15)	618
Ср. мес.	59,3(27)	0,76(0,18)	–113	93,3(43)	0,88(0,22)	146	81,8(36)	0,9(0,21)	269
2%X	124	1,14	523	205	1,325	1063	180	1,4	1181
Нижнеудинск									
. – $\Delta X$	45,8(17)	0,65(0,12)	–284	48,6(21)	0,62(0,14)	–288	41,8(13)	0,63(0,07)	–172
$V \leq 1,0$	52,7(20)	0,7(0,15)	–203	73,5(24)	0,78(0,15)	–24	67,5(20)	0,81(0,13)	109
$V \geq 1,0$	118,7(21)	1,06(0,07)	362	131,7(32)	1,13(0,11)	586	121(26)	1,1(0,1)	587
Ср. мес.	56,9(25)	0,72(0,16)	–175	98,2(41)	0,91(0,22)	204	89,5(36)	0,93(0,18)	300
2%X	125	1,06	409	187	1,27	843	156	1,11	563
Зима									
. – $\Delta X$	43,2(19)	0,61(0,13)	–344	71,2(41)	0,65(0,1)	–205	71(34)	0,6(0,1)	–207
$V \leq 1,0$	49,6(23)	0,91(0,03)	98	80,3(44)	0,87(0,06)	126	67,1(22)	0,84(0,06)	149
$V \geq 1,0$	49,9(27)	1,03(0,02)	301	96,7(52)	1,13(0,15)	585	88,4(37)	1,11(0,1)	593
Ср. мес.	48,4(23)	0,66(0,17)	–271	74,9(41)	0,82(0,21)	67	70,7(32)	0,82(0,2)	129
2%X	124	1,05	224	218	1,41	1278	152	1,17	708

На этом фоне города Тулун, Нижнеудинск, Зима справедливо отнесены к территориям с уровнем опасности наводнений от значительных до высоких. Город Тулун считается территорией с высокой степенью опасности, а Нижнеудинск попал в категорию с очень высокой степенью опасности [10]. Последствия наводнений стали катастрофическими, а ученые подчеркивают, что эти стихийные бедствия постоянные.

### Заключение

Приведенный тезис «климат приносит влагу и тепло, ландшафт их перераспределяет» явился ключевым для данной статьи и определил ее содержание и структуру. Это взаимообусловленные природные процессы.

Взаимодействия климата Иркутско-Черемховской равнины с горным обрамлением формируют инвариантные условия потенциального формирования наводнений в любых геосистемах. Наводнение может быть описано статистическими приемами, оценено в практических целях коэффициентами корреляции и уровнями значимости. Но они не вскрывают и не решают проблемы его начального, текущего и завершающего развития. Познание наводнений возможно лишь на основе учения о геосистемах с логическим учетом особенностей изучаемых территорий. В исследовании обозначены критические компоненты как самих ландшафтов, так и элементов их водного и энергетического балансов и раскрыта сущность формирования ландшафтов наводнения. К критическим явлениям, формирующим наводнение, относятся и предельные размеры элементов геосистем. В связи с этим следует добавить, что в природе имеются аналоги наводнений: наледи, снежники и ледники.

Практическим выводом из проведенных исследований является необходимость осуществления гидротехнических мероприятий не только на Иркутско-Черемховской равнине, но и в ее горном обрамлении. В долинах рек, особенно вблизи населенных пунктов, следует расширять русла рек, увеличивать их пропускную способность, строить обводные каналы, чтобы сбросить опасный слой воды. Кроме этого, на самой равнине необходимо осушать все переувлажненные почво-грунты до влажности наименьшей влагоемкости. При данном приеме будут формироваться запасные почвенные емкости, способные поглощать избыточную влагу и нейтрализовать наводне-

ние. Этого обуславливает необходимость создания мониторинга за переувлажненными землями. Кроме этого, приведенные положения определяют насущность создания на Иркутско-Черемховской равнине единой мелиоративной системы.

### Список литературы / References

1. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 318 с.  
Sochava V.B. Introduction to the doctrine of geosystems. Novosibirsk: Nauka, 1978. 318 p. (in Russian).
2. Корзун М.А., Кузьмин В.А. Почвы Иркутской области // Почвы Иркутской области, их использование и мелиорация: сборник статей. Иркутск: Изд. ИГУ, 1979. С. 17–36.  
Korzun M.A., Kuz'min V.A. Soils of the Irkutsk region // Soils of the Irkutsk region, their use and reclamation: collection of articles. Irkutsk: Izd. IGU, 1979. P. 17–36 (in Russian).
3. Лопатовская О.Г., Сугаченко А.А. Эколого-мелиоративные особенности почвенного покрова Предбайкалья. Иркутск: Изд. ИГУ, 2012. 137 с.  
Lopatovskaya O.G., Sugachenko A.A. Ecological and reclamation features of the soil cover of the Prebaikalia. Irkutsk: Izd. IGU, 2012. 137 p. (in Russian).
4. Напрасников А.Т. Ландшафты наводнений: концепция и способы расчетов // Успехи современного естествознания. 2020. № 5. С. 70–75. DOI: 10.17513/use.37394.  
Naprashnikov A.T. Landscapes of floods: the concept and methods of calculations // Advances in current natural sciences. 2020. № 5. P. 70–75 (in Russian).
5. Синюкович В.Н., Латышева И.В., Макухин В.Л. Циркуляционные факторы современного маловодья в бассейне озера Байкал // География и природ. ресурсы. 2019. № 3. С. 60–66. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-3(60-66).  
Sinyukovich V.N., Latysheva I.V., Makukhin V.L. Circulatory factors of modern low water in the lake Baikal basin // Geografiya i prirod. resursy. 2019. № 3. P. 60–66 (in Russian).
6. Шимараев М.Н., Старыгина Л.Н. Зональная циркуляция атмосферы, климат и гидрологические процессы на Байкале (1968–2007) // География и природ. ресурсы. 2010. № 3. С. 62–68.  
Shimaraev M.N., Starygina L.N. Lake Baikal: Zonal atmospheric circulation, climate and hydrological processes (1968–2007). Geography and Natural Resources. 2010. Vol. 3. P. 245–250. DOI: 10.1016/j.gnr.2010.09.009.
7. Антохина О.Ю. Атмосферные осадки в бассейне реки Селенги и крупномасштабная циркуляция атмосферы над Евразией в июле // География и природ. ресурсы. 2019. № 4. С. 104–115. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-4(104-115).  
Antokhina O.Yu. Atmospheric precipitation in the Selenga river basin and large-scale atmospheric circulation over Eurasia in July // Geografiya i prirod. resursy. 2019. № 4. P. 104–115 (in Russian).
8. Кичигина Н.В. Опасность наводнений на реках Байкальского региона // География и природные ресурсы. 2018. № 2. С. 41–51. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2018-2(41-51).  
Kichigina N.V. Flood Hazard on the Rivers of the Baikal Region. Geography and Natural Resources. 2018. Vol. 39. № 2. P. 120–129. DOI: 10.1134/S187537281802004X.
9. Махинов А.Н. Основные факторы формирования катастрофических наводнений в бассейне реки Амура в 2013 году // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 6. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 435–442.  
Mahinov A.N. The main factors in the formation of catastrophic floods in the Amur River basin in 2013 // Readings in memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov. Vladivostok. Dalnauka, 2014. P. 435–442 (in Russian).
10. Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г. Наводнения в Иркутской области 2018 года // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2019. № 6. С. 48–65. DOI: 10.35567/1999-4508-2019-6-4.  
Shalikovsky A.V., Lepikhin A.P., Tiunov A.A., Kurganovich K.A., Morozov M.G. Floods in the Irkutsk region in 2018 // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye. 2019. № 6. P. 48–65 (in Russian).