

Большаков Б. Е. Система «природа – общество – человек»: устойчивое развитие. – Государственный научный центр Российской Федерации ВНИИ геосистем «Дубна», 2000. – 410 с.

8. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир, 1979. – 440 с.

9. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. – М.: Прогресс, 1986. – 256 с.

Материал поступил в редакцию 27.05.12.

Бондаренко Владимир Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры «Природообустройство»

Тел. (863-5) 22-45-13

E-mail: Priroda-ngma@mail.ru

Лещенко Андрей Васильевич, кандидат технических наук, доцент

Тел. (863-5) 22-45-36

E-mail: Andrey-Leshenko@bk.ru

Поляков Евгений Сергеевич, аспирант

Тел. (863-5) 22-45-36

УДК 502/504:004.94

А. Н. НАСОНОВ, В. И. СМЕТАНИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ТОПОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются особенности комплексного моделирования природно-техногенных систем в условиях нелинейности природной среды. Дается оценка критических системных состояний, основанных на принципах организации природно-техногенных систем.

Природно-техногенная система, критическая техногенная нагрузка (активность) на природную среду, организация природно-техногенной системы, комплексный потенциал природной среды.

There are considered specific features of integrated simulation of natural-anthropogenic systems under the conditions of non-linearity of the environment. There is given an assessment of critical systematic states based on the principles of organization of natural-anthropogenic systems.

Natural-anthropogenic system, critical anthropogenic load (activity) on the environment, integrated potential of the environment.

Любая техногенная система создает свой характерный динамический «отпечаток» в экосистеме, который проявляется в ее самоорганизации. При этом самоорганизация природно-техногенной системы рассматривается как способ синхронизации техногенной нагрузки в природном ландшафте, при котором энергетические потери среды минимизируются. Воздействие на природные ландшафты приобретает особый смысл, поскольку цена допускаемых здесь ошибок может быть слишком велика, а иногда чревата потерей созданного природно-техногенного ландшафта – эталона устойчивого равновесия. В постановке задачи самоорганизации природно-техногенные системы целесообразно рассматривать с использованием следую-

щих определений:

системное единство технологий (организаций) и вмещающей их природной среды, позволяющее рассматривать техногенные процессы и вмещающую их среду как единое целое с присущей этому целому динамикой эволюционного развития;

природно-техногенная система – природная целостность с внедренной в нее формой организации техногенных процессов;

критическая техногенная нагрузка (активность) на природную среду – нагрузка, соответствующая порогу системной сложности вмещающей природной среды, за пределом которого система исчезает как целостность. При этом система теряет свои организационные свойства во

вмещающей среде и превращается в несвязную совокупность «умирающих» (в рамках конкретной системы) подсистем;

комплексный потенциал природной среды – комплексный ресурс природной среды, направленный на поддержание организации природно-техногенной системы: $R_{п.} = F \{D_{с.кр.}; K_c; N; (D_{с.кр.} - D_{с.н.}); D_{с.н.}\}$, (1) где $D_{с.кр.}$ – предельные возможности организации вмещающей природной среды (критическая техногенная нагрузка); K_c – компенсаторная реакция природной среды на увеличение техногенной активности (эластичность природной среды); N – возможность встраивания нагрузки в природную среду (гомогенность природной среды); $D_{с.н.}$ – организация природной вмещающей среды, при которой затраты ее ресурса на поддержание техногенной активности минимальные; $(D_{с.кр.} - D_{с.н.})$ – характеризует возможное разнообразие техногенной активности при заданной организации природной среды (запас устойчивости природно-техногенной системы).

В качестве модели самоорганизации природно-техногенных систем был использован алгебраический фрактал Мандельброта следующего вида, [1, 2]:

$$Z_{(n+1)} = N Z_n^2 + [D_c + K_c i], \quad (2)$$

где n – количество итераций (состояний), задаваемое пользователем, для генерации траекторий системы в фазовом пространстве (обычно для достижения системой устойчивой структуры-аттрактора достаточно 200...300 итераций); N – интегральный коэффициент, трактуемый как гомогенность внешней нагрузки с вмещающей средой – коэффициент системного трения или диффузии (определяется также как системный фактор, усиливающий или ослабляющий инертные свойства системы, определяет эффективность локализации внешней нагрузки во вмещающей среде; Z_n^2 – системный фактор, трактуемый как инерция среды и означающий, что система самовоспроизводится и развивается в результате взаимодействия среды и внешней нагрузки (определяется как тенденция системы к сохранению исходной тождественности); $[D_c + K_c i]$ – комплексное число (i – мнимая единица) с соответствующими вещественными числами: D_c – интегральный коэффициент, трактуемый как внешняя совокупность различной физической природы нагрузок на вмещающую среду – коэффициент системного разнообразия или системной сложности; K_c – интегральный коэффициент, трактуемый как компенсаторная реакция вмещающей среды на внешнюю нагрузку – коэффициент системной упругости или эластичности вмещающей среды (определяется также как системный фактор, стремящийся за счет существующей эластичности вмещающей среды разместить в ней все физическое разнообразие нагрузочных процессов с присущими им характеристиками, а при невозможности такого размещения система (процесс) разрушается как целостность, и ее элементы входят в другую систему (процесс), что трактуется как нахождение решения среды на другом уровне ее организации).

По сути своего семантического содержания рассматриваемая модель алгебраического фрактала формирует структуры-аттракторы, возникающие в результате самоорганизации вмещающей среды. При определенных условиях можно получить ответ на вопросы о том, сможет ли вмещающая среда «разместить» в себе все разнообразие процессов, которые привносит с собой внешняя нагрузка, с точки зрения установления динамического равновесия за счет самоорганизации.

В настоящее время известны описания свойств фрактальных структур, обосновывающих их использование для моделирования подобных систем [1]:

способность к приспособлению при изменении внешних условий (свойство адаптации);

способность к сохранению памяти о прошедших структурных изменениях (свойство наследственности);

способность к организации новых фрактальных структур, отличающихся по своему строению (свойство изменчивости);

способность к обмену энергией и веществом с окружающей средой (аналог метаболизма);

способность к самоуправлению внутри системы за счет энтропийных процессов неустойчивости самой системы (проявление свойств независимости от внешней энергии).

Перечень свойств, с одной стороны, делает фракталы основным структурным элементом в моделировании динамически развивающихся сред, который способен управлять адаптацией системы к внешнему фактору через ее организацию. С другой стороны, спонтанная активность или, напротив, чрезмерная инертность изучаемой системы, способность к структурированию или к взрывообразному разрушению во время фазового перехода – все эти свойства реальных природно-техногенных систем не поддаются обобщению в рамках традиционных линейных моделей [2, 3]. В отличие от последних процедуры фрактальной итерации состояний позволяют сразу перейти к отображению не результата, а процесса взаимодействия факторов модели в динамике. Точка наносится на график не тогда, когда она удовлетворяет уравнению, а когда генерируется

определенный тип поведения системы, характеризующий ее устойчивость. Совокупность точек всех возможных начальных состояний системы, из которых она «втягивается» в тот или иной аттрактор (пространство перспектив), обозначается как бассейн аттрактора (пространство потенциалов) среды (рис. 1). Однако порядок никогда не господствует над беспорядком полностью, и полная ликвидация беспорядка губит самоорганизацию. Поэтому природно-техногенная система является не набором признаков, а логической целостностью, и ее эволюция состоит не в замене худших признаков на лучшие, а в совершенствовании логических схем поведения систем различной природы [4, 5].

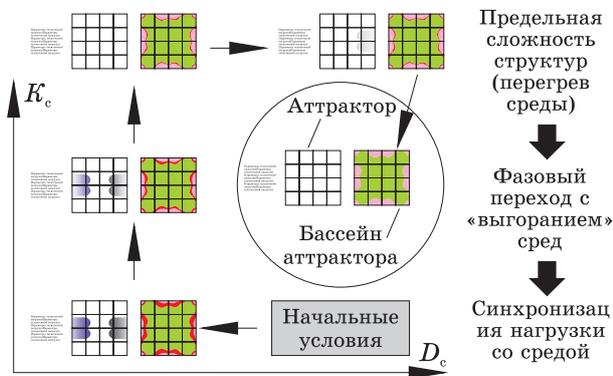
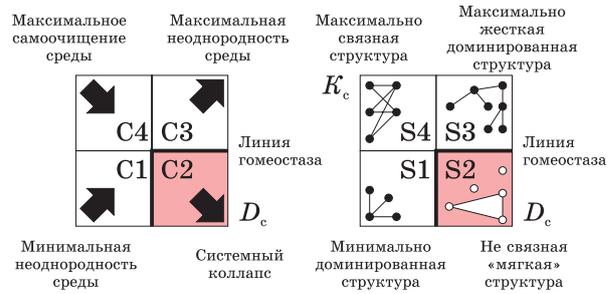


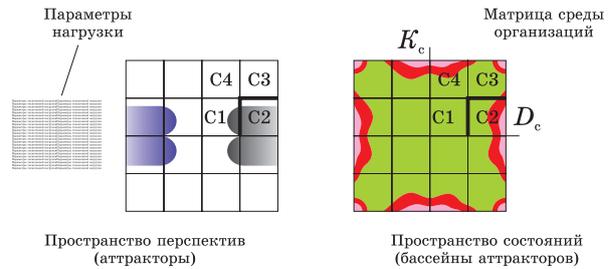
Рис. 1. Самоорганизация природно-техногенной системы как синхронизация техногенной нагрузки с природной средой

Таким образом, разметка фазового пространства, с учетом комбинации параметров доминирования и связанности, может быть представлена набором базовых организаций природно-техногенных систем (CS1...CS4) (рис. 2). Приведем идентификацию организаций природно-техногенных систем, которая, по сути, является унифицированной матрицей среды моделируемой природно-техногенной системы независимо от ее физической природы и параметров:

CS1 – «природный баланс» – система со способностью к самоочищению, при которой не происходит явных нарушений сукцессии, но с низкоэффективной природоохранной технологией, например, леса, реки вдали границ промышленных предприятий, периферийные городские территории с низкой территориальной концентрацией людей;



а



б

Рис. 2. Матрица организации природно-техногенных систем: а – базовые сегменты организации (структур) с соответствующими сценариями целевого развития природно-техногенной системы; б – фазовый портрет природно-техногенной системы в структуре моделирования

CS2 – «техногенный баланс» – система, нагрузка которой не соответствует вмещающей среде и стремится к разрушению. Низкая способность к самоочищению и отсутствие природоохранных технологий (уничтожение системы, ведущее к разным степеням экологических катастроф). Организация среды представлена «мягкими» сетевыми структурами, как правило, бессвязными, каждая из которых развивается по своему. Такое решение называется химерным. Химеры возникают тогда, когда сила структурных связей неоднородна, например, сильнее в центре и слабее по краям системы. Тогда организации в центре будут вести себя синхронно, а на периферии – беспорядочно. Это становится предтечей нарушения процесса коэволюции составляющих подсистем, которые перестают коррелировать между собой, а совместное развитие подменяется системным доминированием;

CS3 – «городской баланс» – система с низкой способностью к самоочищению и самовосстановлению, но с эффективной

природоохранной технологией вмещающей среды. Организация представлена жесткими доминированными сетевыми структурами, что ведет к увеличению «хрупкости» вмещающей среды. В реальной жизни такие среды представляют городские и примыкающие к ним территории с повышенной концентрацией людей, включая рекреационные зоны. Наиболее острые проблемы таких сред – уязвимость экосистем, концентрация населения, низкое качество параметров обитания, потеря плодородности земель, удаление отходов;

CS4 – «природный эталон» – система с высокой способностью к самоочищению (национальные парки, заповедники). Здесь организация среды представлена максимально связанной сетевой структурой природных сообществ и минимальным техногенным доминированием экосистемы.

Таким образом, эволюция природно-техногенной системы представляется как неравновесная диссипативная система, развитие которой к структурам-аттракторам определяется синхронизацией внешней нагрузки во вмещающей среде. При этом закручивающейся спирали в фазовом пространстве соответствуют затухающие колебания в реальной жизни. И наоборот, отсутствие структуры-аттрактора (цели развития) соответствует расходящимся в бесконечность колебаниям.

Параметрическая настройка исходной модели позволяет получать последовательность фазовых переходов до состояния устойчивого динамического равновесия нагрузки с вмещающей средой на базовой матрице организаций природно-техногенных систем. Нормативные и критические параметры системных состояний в общем случае определяются процедурами фрактального формализма, позволяющими определить параметрические области оптимальной организации внешней нагрузки с вмещающей средой [1]. Особенностью критической нагрузки является утрата организационных свойств системы, при которых начинается необратимое разрушение, остановить которое изменением динамических переменных невозможно (рис. 3).

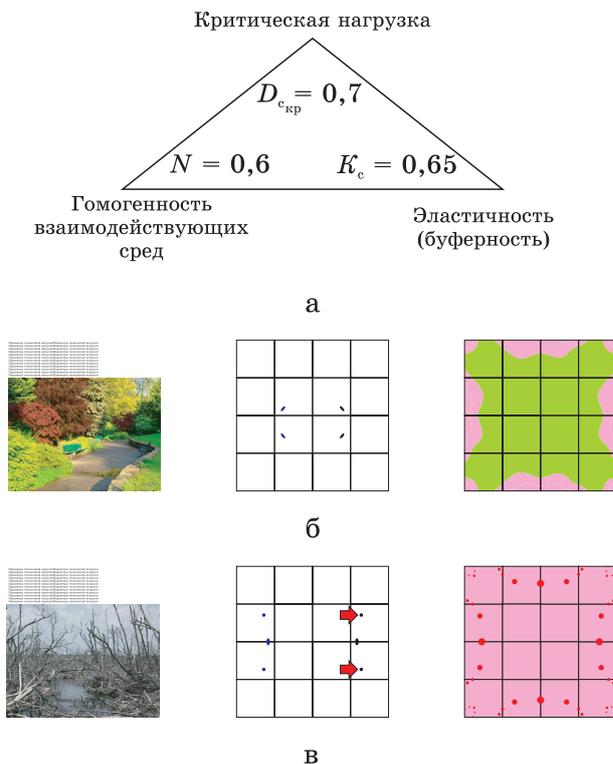


Рис. 3. Нормативный и критический уровни техногенной активности: а – композиция критической техногенной нагрузки с параметрами вмещающей природной среды; б – нормативный уровень техногенной активности (структура-аттрактор); в – критический уровень техногенной активности (необратимое разрушение системы)

На рис. 3 можно видеть фазовое состояние системы при критической нагрузке, за пределом которой система исчезает как целостность, а ее элементы встраиваются в другую систему, что трактуется как другой уровень ее организации. Видно, что с увеличением нагрузки аттракторы смещаются в зону катастроф (красные стрелки).

На рис. 4 приведен пример моделирования природно-техногенной системы. По своей сути представленные фазовые портреты системы показывают, как меняется ее организация при достижении устойчивого состояния. Тот факт, что система достигла устойчивого состояния при малом количестве итераций (30), говорит о том, что вмещающая среда обладает высокой нелинейностью, а следовательно, сложностью. При этом на начальных итерациях появляется диссонанс взаимодействующих сред, выражающийся во «взрыве» аттракторов.

Причиной диссонанса является то, что некоторые техногенные параметры превышают допустимую нагрузку на вмещающую среду, а это для экосистемы своеобразный «средовой шок». Затем происходит «выгорание» вмещающей среды (синхронизация неоднородностей), которая спасает сложную системную структуру от полного разрушения [5, 6]. Развитие подобных систем начинает ограничиваться тогда, когда для своего поддержания она создает слишком много «беспорядка» вокруг, т. е. делает свое существование чрезмерно затратным, разрушительным для среды. В результате механизмы, обеспечивающие относительно устойчивое состояние на прежнем этапе, становятся непродуктивными и оборачиваются своей противоположностью – катастрофическим сценарием развития. При этом система либо погибает, либо перестраивается в более разрушительную для окружения систему [4, 7].

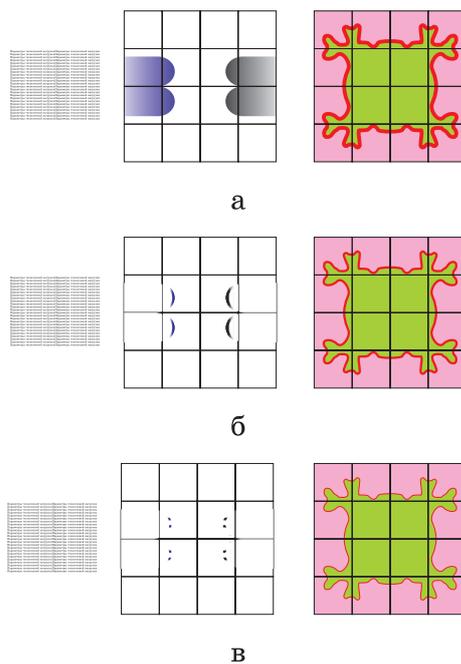


Рис. 4. Пример моделирования природно-техногенной системы: а – фазовый портрет системы («выгорание» среды) при 5 итерациях; б – фазовый портрет системы («выгорание» среды) при 15 итерациях; в – фазовый портрет системы (структура-аттрактор) при 30 итерациях

После того как синхронизация неоднородностей произошла, система приходит в зону устойчивости с характерными

сценариями «природного баланса», где нет явных нарушений природной сукцессии.

Выводы

Эффективность предложенного подхода при моделировании природно-техногенной системы определяется следующими особенностями:

возможностью, в отличие от традиционных способов моделирования, сразу перейти к отображению не результата, а процесса взаимодействия факторов модели в динамике. Точка наносится на график не тогда, когда она удовлетворяет уравнению, а когда генерируется определенный тип поведения природно-техногенной системы, характеризующий ее устойчивость. Моделирование природно-техногенной системы рассматривается как совокупность всех возможных начальных состояний (техногенных нагрузок, инфраструктурных параметров), из которых она попадает в тот или иной аттрактор, каждый из которых имеет собственную область начальных состояний в фазовом пространстве;

возможностью обоснованного расчета нормативных и критических параметров (активности) природно-техногенной системы, а также выбора целевой траектории развития природно-техногенной системы на основе анализа фазового пространства состояний, позволяющего при имеющемся ресурсе выбрать наиболее подходящую стратегию взаимодействия техногенной нагрузки с вмещающей средой без навязывания природной среде не свойственных ей форм организации.

1. Встовский Г. В., Колмаков А. Г., Бунин И. А. Введение в мультифрактальную параметризацию структур материалов: Сер. Регулярная и хаотическая динамика. – М., 2001. – 116 с.

2 Жуков Д. С. Лямин С. К. Живые модели ушедшего мира: Фрактальная геометрия истории: монография. – Тамбов: изд-во ТГУ, 2007. – 167 с.

3. Жуков Д. С., Канищев В. В., Лямин С. К. Фрактальное моделирование: Технология и эвристическая продуктивность: История и компьютер: Информационный бюллетень. – М.: изд-во МГУ, 2010. – № 36. – С. 96–98.

4. Валянский С. И., Калюжный Д. В., Недосекина И. С. Введение в хронотронику. – М.: Наука, 2001. – 220 с.

5. Курдюмов С. П., Князева Е. Н. Синергетика. Нелинейность времени и ландшафты коэволюции. – М.: Комкнига, 2007. – 213 с.

6. Арманд А. Д., Люри Д. И., Жерихин В. В. Анатомия кризисов. – М.: Наука, 2000. – 237 с.

7. Басов Н. В. Инновация как фактор социальной самоорганизации: процессуально-пространственное моделирование // Социология и социальная антрополо-

гия. – 2008. – № 4. – С. 185–203.

Материал поступил в редакцию 10.09.12.

Насонов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Тел. 8 (926) 207-09-54

E-mail: andrenas22@yandex.ru

Сметанин Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Организация и технология строительства объектов природообустройства»

Тел. 8 (499) 976-07-13

E-mail: smetanin2000@yandex.ru

УДК 502/504:631.6:631.484

А. В. КОМИССАРОВ

РБ ФГБУ «Управление «Башмелиоводхоз»

А. Р. ХАФИЗОВ, А. Ф. ХАЗИПОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Башкирский государственный аграрный университет»

М. А. КОМИССАРОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Уфимского научного центра РАН

ВЕРИФИКАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАТЕН ВОДОСБОРОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Приведены результаты верификации компьютерной модели функционирования ландшафтных катен водосборов по результатам натуральных наблюдений за глубиной грунтовых вод. Разработаны модели природных условий и геоморфологических схем катен экспериментальной площадки. Обоснована возможность применения данной модели для выполнения прогнозных расчетов мелиоративных режимов в условиях лесостепной зоны Западного Башкортостана.

Комплексная мелиорация, моделирование природных условий, ландшафтная catena, геоморфологические схемы катен, расчетная и экспериментальная глубина грунтовых вод.

There are given verifying results of the computer model of functioning of landscape catenas of watersheds based on the results of field observations of deep groundwater. Models of natural conditions and geomorphological patterns of catenas of the experimental site are developed. The possibility of applying this model is substantiated for performing prognostic calculations of reclamation regimes under the conditions of the forest-steppe zone of the Western Bashkortostan.

Complex reclamation, simulation of natural conditions, landscape catena, catenas geomorphological schemes, calculated and experimental depth of groundwater.

Расширить предметную область исследования мелиорации – актуальная задача современности. Она включает изуче-

ние вопросов комплексной мелиорации как базисного элемента комплексного обустройства, применения мелиоративных

мероприятий для повышения экологической устойчивости водосборов, разработки способов расчета водообмена и обоснование мелиорации. А. И. Головановым разработана компьютерная модель, описывающая функционирование катен водосборов при проведении водной мелиорации [1, 2]. Модель позволяет определять экологически безопасный мелиоратив-

ный режим, обеспечивающий устойчивое функционирование водосборов (рис. 1). Под устойчивым функционированием водосборов подразумевается такое функционирование, когда увеличение продуктивности земель водосборов при проведении водной мелиорации не только сохраняет, но и повышает общую экологическую устойчивость их ландшафтов.



Рис. 1. Модель устойчивого функционирования катен водосборов (КЭУ – коэффициент экологической устойчивости водосборов)

Модель содержит компьютерную программу «Катена» численного решения двумерного уравнения влагопереноса в зоне аэрации и в зоне полного влагонасыщения [2]. Результаты расчетов выдаются и сохраняются в виде параметров мелиоративного режима катен, стока (в том числе среднесуточные показатели), водного режима по глубинам и расчетным годам.

Для верификации разработанной компьютерной модели использованы материалы полевых экспериментов, проведенных на территории водно-балансовой станции управления по мониторингу мелиорируемых земель РВ ФГБУ «Управление Башмелиоводхоз» [3].

Метеорологические данные. На водно-балансовой станции с 2000 года ведутся метеорологические наблюдения за температурой и относительной влажностью воздуха, осадками, атмосферным давлением и испарением с водной поверхности, влажностью и глубиной промерзания почвы, высотой снежного покрова; проводятся маршрутные снегомерные съемки. В 2010 году начаты наблюдения с помощью автоматизированной метеорологической станции, которая позволяет ежедневно

фиксировать следующие параметры: температуру и относительную влажность воздуха, количество жидких осадков, направление и скорость ветра, величину солнечной радиации, атмосферное давление. На основе метеорологических сведений составлен массив метеорологических данных (суточные значения температуры и влажности воздуха, осадков) для расчета по программе «Катена».

Топографические условия. Водно-балансовая станция расположена на левобережной части среднего течения реки Белая и приурочена к 2-3 надпойменным террасам, коренному склону долины реки Белая и водосборным поверхностям рек Воробьевка – Манеска и Кармасан – Сикязка. Имеется топографическая карта водосбора ручья Воробьевка, составленная для организации гидрологических наблюдений на малых водотоках. По имеющимся исходным данным разработаны морфометрические, метеорологические и почвенно-геологические модели водосбора ручья Воробьевка.

Морфометрическая модель разработана на основе топографической карты водосбора ручья Воробьевка (масштаб

1:5000). Площадь водосбора 5,28 км², залесенность 45 %, средний уклон водосбора 0,023. Абсолютные отметки водораздельной линии 176 мБС. Водосбор

ручья смоделирован из одной катены. Морфометрическая схема катены состоит из трех фаций: элювиальной, трансэлювиальной и супераквальной (табл. 1).

Таблица 1

Морфометрические параметры катены водосбора ручья Воробьевка

| Параметр катены, м | | Ширина фации, м | | | Коэффициент крутизны склона | Коэффициенты формы склона | |
|--------------------|--------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------|
| Ширина | Высота | Супераквальная (низины) | Трансэлювиальная (склона) | Элювиальная (возвышенности) | | a_1 | a_2 |
| 1224,9 | 28 | 428 | 612 | 185 | 4,0 | 1 | 4 |

Гидрогеологические условия. В гидродинамическом отношении рассматриваемые водоносные комплексы и горизонты верхнепермских, неогеновых и четвертичных отложений находятся в пределах зон интенсивного водообмена. Нижняя граница зоны активного водообмена определяется положением местных базисов эрозии. Грунтовые воды залегают в элювиально-делювиальных отложениях четвертичного возраста. Водоупорными породами служат суглинки и мелкозернистые пески. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков. Относительным водоупором служат глины неогенового и пермского возрастов с прослойками песчаников и известняков.

Характеристика почв. Характеристики почв определены по четырем почвенным разрезам.

Разрез 1 заложен около режимной скважины 1. Пашня. Почва: чернозем выщелоченный, среднемощный на аллювиально-делювиальной карбонатной глине.

Разрез 2 заложен около режимной скважины 2. Пашня. Почва: чернозем выщелоченный, среднемощный, среднесуглинистый на делювиально-карбонатных отложениях.

Разрез 3 заложен около режимной скважины 3/1. Пашня, посеы зерновых. Почва: чернозем выщелоченный среднемощный, среднесуглинистый, на древних аллювиально-карбонатных отложениях.

Разрез 4 заложен около режимной скважины 3/2. Пастбище, естественное разнотравье. Долина ручья Воробьевка. Почва: пойменно-зернисто-темноцветная, среднесуглинистая, на карбонатном аллювии.

Водно-физические свойства почв и грунтов определены по стандартной методике [4]. На их основе для трех фаций катены водосбора составлена почвенно-геологическая модель (табл. 2).

Таблица 2

Водно-физические свойства почвогрунтов катены водосбора ручья Воробьевка

| Горизонт | H , м | ρ | ω | h_k , м | k_f , м/сут | ППВ почвенного горизонта, доля пористости |
|------------------------|---------|--------|----------|-----------|---------------|---|
| Элювиальная фация | | | | | | |
| Чернозем выщелоченный | 0,9 | 0,49 | 0,096 | 5,0 | 1,0 | 0,55 |
| Глинистый | 9,0 | 0,35 | 0,083 | 6,0 | 1,0 | |
| Супесчано-суглинистый | 15,0 | 0,32 | 0,01 | 2,5 | 3,5 | |
| Глинистый | 5,4 | 0,38 | 0,1 | 9,3 | 0,05 | |
| Трансэлювиальная фация | | | | | | |
| Чернозем выщелоченный | 0,81 | 0,51 | 0,095 | 5,0 | 2,56 | 0,71 |
| Глинистый | 9,0 | 0,35 | 0,085 | 6,0 | 2,56 | |
| Супесчано-суглинистый | 15,0 | 0,32 | 0,01 | 2,5 | 3,5 | |
| Глинистый | 5,4 | 0,38 | 0,1 | 9,3 | 0,05 | |
| Супераквальная фация | | | | | | |
| Чернозем выщелоченный | 0,81 | 0,53 | 0,101 | 5,0 | 1,41 | 0,79 |
| Глинистый | 10,0 | 0,35 | 0,087 | 6,0 | 1,41 | |
| Суглинистый | 15,0 | 0,37 | 0,1 | 9,3 | 0,03 | |
| Глинистый | 4,9 | 0,30 | 0,1 | 9,3 | 0,03 | |

Примечания: H – толщина слоя; ρ – пористость; ω_m – максимальная гигроскопичность; h_k – высота капиллярной каймы; k_f – коэффициент фильтрации; ППВ – предельная полевая влагоемкость.

На водосборе ручья Воробьевка, по линии от водораздела к водотоку, для наблюдения за глубиной грунтовых вод пробурены четыре режимные скважины. Скважина 1 расположена на водоразделе (ПК – 0), скважина 2 – на верхней части склона (ПК1 + 17,5), скважина 3/1 – на нижней части склона (ПК3 + 31,5) и сква-

жина 3/2 – в долине ручья (ПК8 + 17,4). За глубину грунтовых вод принято расстояние от поверхности земли до зеркала грунтовых вод в скважинах, определяемое при помощи мерной ленты с хлопущкой. Полевые наблюдения за глубиной грунтовых вод ведутся с 2001 года по настоящее время (табл. 3).

Таблица 3

**Глубина грунтовых вод в скважинах водосбора
ручья Воробьевка, м**

| Дата измерения | Скважина 1 | Скважина 2 | Скважина 3/1 | Скважина 3/2 |
|----------------|------------|------------|--------------|--------------|
| 27.11.01 | 8,00 | – | 3,05 | 1,70 |
| 24.09.02 | 6,80 | 2,37 | 1,24 | 1,98 |
| 22.04.03 | – | 1,60 | 1,02 | 0,70 |
| 04.06.03 | – | 2,11 | 0,79 | 0,94 |
| 03.07.03 | – | 1,89 | 0,79 | 0,72 |
| 23.09.03 | – | – | 2,45 | 2,02 |
| 07.10.03 | – | 2,49 | 2,43 | 2,02 |
| 25.11.03 | – | 2,02 | 1,27 | 1,10 |
| 15.03.04 | – | 2,89 | 3,31 | – |
| 22.04.04 | – | – | 4,74 | – |
| 19.05.04 | – | – | 1,88 | – |
| 22.02.05 | 8,46 | – | 2,70 | – |
| 01.11.05 | – | – | – | 2,43 |
| 20.03.06 | 8,42 | – | – | – |
| 06.05.06 | 7,93 | 2,8 | 1,00 | – |
| 02.08.07 | 7,63 | 2,57 | 1,36 | 1,25 |
| 05.10.07 | 7,50 | 2,95 | 1,50 | 2,05 |
| 19.05.08 | 7,80 | – | 0,90 | 1,20 |
| 04.07.08 | 7,59 | – | 1,05 | 1,43 |
| 15.08.08 | 7,90 | – | 1,90 | – |
| 05.11.08 | – | – | 2,30 | 2,50 |
| 02.06.09 | 8,48 | 3,86 | 1,25 | 1,58 |
| 03.06.09 | 8,49 | 3,88 | 1,30 | 1,68 |
| 02.07.09 | 8,58 | 3,97 | 1,77 | 2,17 |
| 03.08.09 | 8,75 | 4,15 | 2,51 | 2,40 |
| 17.09.09 | 8,69 | 4,02 | 3,01 | 2,32 |
| 16.10.09 | – | 4,37 | 4,06 | 2,29 |
| 19.11.09 | 8,87 | 4,11 | 3,07 | 2,23 |
| 08.04.10 | 9,00 | 3,88 | 4,67 | 2,90 |
| 25.06.10 | 9,00 | 3,90 | 4,70 | 1,90 |
| 06.07.10 | 9,48 | 4,20 | 5,00 | 5,46 |
| 15.09.10 | 9,55 | 4,70 | 5,46 | 2,50 |
| 08.04.11 | – | 5,69 | 5,86 | 2,76 |
| 12.05.11 | – | 4,67 | 3,98 | 1,53 |
| 21.07.11 | – | 4,90 | 4,35 | 2,14 |
| 16.09.11 | – | 4,98 | 5,28 | 3,19 |

Верификация модели осуществлена с помощью сопоставления значений глубин грунтовых вод, полученных экспериментально и рассчитанных по компьютерной

модели. Компьютерные расчеты проводились с 2001 года.

Критерий правильности работы компьютерной модели – сходимость расчетных

и экспериментальных значений глубин. С целью проверки данного критерия постро-

ены графики динамики глубин грунтовых вод за период с 2001 по 2011 год (рис. 2).

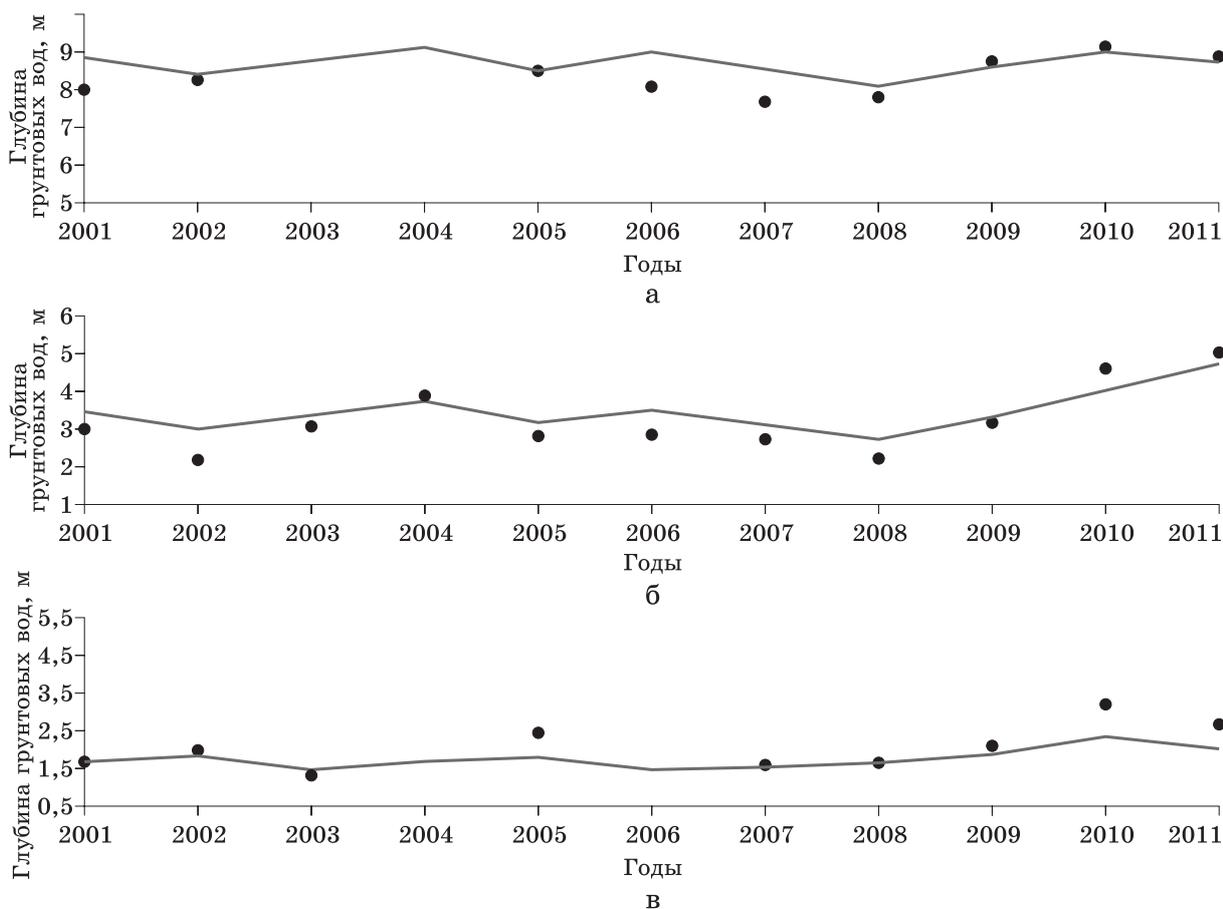


Рис. 2. Динамика глубин грунтовых вод по годам: а – по элювиальной фации; б – по транзитной фации; в – по супераквальной фации; — расчетные значения глубины грунтовых вод; • экспериментальные значения глубины грунтовых вод

Из рисунка 2 видно, что расчетные и экспериментальные значения глубин грунтовых вод по годам имеют схожую динамику. Средние расхождения результатов по фациям составили: по элювиальной (скважина 1) – 5 %, по транзитной (скважины 2 и 3/1) – 12 % и по супераквальной (скважина 3/2) – 7% (см. табл. 3). Проведенный анализ показал, что расчеты дают достаточную для практических расчетов сходимость экспериментальных и расчетных значений глубин грунтовых вод и позволяют моделировать их годовые колебания.

Вывод

Приведенная верификация модели функционирования катен водосборов подтверждает возможность использования данной модели для прогнозных расчетов при обосновании водной мелиорации в условиях лесостепной зоны Западного

Башкортостана.

1. Хафизов А. Р. Моделирование функционирования водосборов при их комплексном обустройстве // Мелиорация и водное хозяйство. – 2010. – № 3. – С. 34–37.
2. Природообустройство / А. И. Голованов [и др.] – М.: КолосС, 2008. – 552 с.
3. Водно-балансовая станция / Р. Ф. Абдрахманов [и др.] – Уфа: БГАУ, 2002. – 82 с.
4. Долгов С. И. Агрофизические методы исследований почв М.: Наука, 1966. – 259 с.

Материал поступил в редакцию 10.03.12.
Комиссаров Александр Владиславович,
 кандидат сельскохозяйственных наук,
 директор
 Тел. 8 (347) 281-04-47

E-mail: alek-komissaro@yandex.ru

Хафизов Айрат Раисович, доктор технических наук, профессор

Тел. 8 (347) 228-08-71

E-mail: chafizov@mail.ru

Хазипова Айгуль Фаргатовна, старший преподаватель

Тел. 8 (347) 228-08-71

E-mail: aigul.hazipova@mail.ru

Комиссаров Михаил Александрович, младший научный сотрудник лаборатории почвоведения

Тел. 8-927-337-79-87

E-mail: mkomissarov@list.ru

УДК 502/504:631.6(470.621)

И. М. ДАНИЛИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Красноярский государственный аграрный университет»

Е. В. РЯПОЛОВА

Департамент муниципального имущества и земельных отношений Администрации, Красноярск

И. А. ЦЕЛИТАН

Красноярский институт экономики Санкт-Петербургского университета управления и экономики

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

Рассмотрены вопросы оценки экологических рисков и оптимизации сельскохозяйственного землепользования в районах Красноярского края в связи с чрезвычайными ситуациями природного характера. Составлены схемы оценки экологических рисков и влияния чрезвычайных ситуаций на растениеводство. Обоснованы подходы к страхованию земель сельскохозяйственного назначения с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций. Определены прогнозные площади гибели посевов зерновых культур по зонам риска для расчета страховых платежей.

Экологические риски, чрезвычайные ситуации природного характера, сельскохозяйственное землепользование, страхование, Красноярский край.

The questions of assessment of ecological risks and optimization of agricultural land use in the regions of the Krasnoyarsk territory in connection with natural emergency situations are considered in the paper. The schemes on assessment of ecological risks and impact of emergency situations on plant growing are made up. The approaches to insurance of agricultural lands are substantiated taking into account risk arising of natural emergency situations. There are defined prognostic areas of the grain crops loss according to risk zones for estimation of insurance payment.

Ecological risks, natural hazards, agricultural land use, insurance, Krasnoyarsk territory.

Красноярский край богат земельными ресурсами. Почвы и климатические условия отличаются большим разнообразием. Земельный фонд Красноярского края (вместе с Эвенкийским и Таймырским муниципальными районами) составляет 236,6 млн га, при этом под земли сельскохозяйственного назначения отве-

дено 39,8 млн га, или 16,8 % [1].

В центральных и южных районах края сочетаются широкие возможности пахотного земледелия и пастбищного животноводства, в северных районах (Таймырский муниципальный район) обширные территории занимают оленьи пастбища. Вместе с тем, в течение ряда лет