

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ТОМСКОГО ВОДОЗАБОРА

Приведены результаты исследований водного режима почв на территории Обь-Томского междуречья. Показана тесная связь верхних горизонтов почв с условиями увлажнения года. Выявлены признаки гидрологической деградации ландшафта: снижение уровня грунтовых вод, обсыхание мелкозалежных торфяников, формирование горизонтов иссушения в центральной части почвенного профиля, связанные с действием Томского водозабора.

Ключевые слова: мониторинг; водный режим; водозабор; иссушение; трансформация ландшафта.

Контроль состояния природных систем, включающих как экологическую, так и гидрологическую составляющую ландшафта, осуществляется в процессе мониторинга – системы непрерывных или циклических наблюдений и описаний на определенный момент времени. Гидрологический мониторинг с целью выявления особенностей функционирования природных систем в различных погодных условиях и антропогенных воздействиях включает основные элементы водного баланса: поступление осадков, их перехват и испарение пологом леса, динамику запасов почвенных и грунтовых вод, испарение почв и растительного покрова, инфильтрацию, поверхностный и грунтовый сток. С гидрологических позиций почвы являются той системой, в теле которой происходят поглощение, удержание и испарение влаги, что фиксируется в наблюдениях за динамикой почвенной влажности. Важно при этом оценивать почву и как звено биогеоценоза, которое совместно с растительным покровом обуславливает тип местного оборота влаги, ее поступление в грунтовые воды и далее – в водные системы [1, 2]. Организация мониторинга сопряжена с определенными трудностями научно-методического характера. Наибольшую сложность представляет разделение влияния естественного тренда климатической изменчивости и антропогенных воздействий. Поэтому мониторинговые исследования по продолжительности должны быть сопоставимы с климатическими циклами, охватывать различные по погодным условиям годы. Проводимые исследования связаны с переоценкой запаса подземных вод, прогнозом изменения природной среды в результате его эксплуатации и имеют целью экологическую оптимизацию режима эксплуатации месторождения.

Объект и методы исследования

Обь-Томское междуречье имеет для г. Томска важное экологическое и хозяйственное значение. До недавних пор здесь активно использовалось более 48 тыс. га сельскохозяйственных угодий, среди которых преобладала пашня. Территория с относительно высокой плотностью населения интенсивно подвергается рекреационным и хозяйственным нагрузкам. Введение в эксплуатацию крупнейшего в России водозабора с необходимостью санитарной защиты подземных вод потребовало ограничений на некоторые виды хозяйственной деятельности. Основным источником водоснабжения г. Томска являются подземные воды палеогенового комплекса с глубиной залегания кровли водоносного комплекса в районе Обь-Томского водораздела 60–105 м. Питание палеогенового водоносного комплекса повсеместно инфильтрационное. Томский водо-

забор имеет линейное расположение скважин и пересекает различные природные комплексы в сложной ландшафтной структуре междуречья. Откачка подземных вод в объемах до 200–220 тыс. м³/сут за время эксплуатации привела к сработке водоносных горизонтов и формированию воронки депрессии, занимающей большую часть Обь-Томского междуречья, что сказалось и на состоянии окружающей среды. Гидрологический режим почв более тесно связан с водоносным комплексом четвертичных отложений, воды которого находятся в сопряжении с эксплуатируемыми водами палеогенового горизонта и в зависимости от особенностей рельефа и генезиса отложений подразделяются на: воды террасовых отложений, воды аллювиальных средне-верхнечетвертичных отложений древних ложбин стока, верховодку и болотные воды [3].

Территория междуречья характеризуется сложной ландшафтной структурой. Природно-территориальные комплексы в ранге ландшафтов представлены денудационно-аккумулятивной равниной, местами перекрывающими ее древними ложбинами стока и современным долинным комплексом с террасами разного уровня [4, 5]. Ландшафты древней равнины формируются на богатых, часто карбонатных суглинистых почвообразующих породах в условиях хорошей дренированности логами и долинами рек. В почвенном покрове господствуют серые лесные и серые глеевые почвы с развитым гумусовым горизонтом. В растительном покрове преобладают березовые, осиново-березовые травяные и высокотравные леса. Отложения ложбин древнего стока преимущественно песчаного и супесчаного гранулометрического состава. Поверхность ложбин плоско-волнистая в сочетании с гривно-ложбинными участками. Почвенный покров представлен подзолами иллювиально-железистыми на сортированных песках и дерново-подзолами на иловатых и слоистых супесях. Лесная растительность менее разнообразна, т.к. в недавнее время коренные леса на территории интенсивно вырубались и сохранились небольшими фрагментами на песчаных гривах. На остальной территории господствуют вторичные леса с различным соотношением березы и осины. Болота в межгривных понижениях преимущественно олиготрофные, реже мезотрофные. Грунтовые воды залегают неглубоко и выклиниваются в долинах рек. Террасовый комплекс Обь-Томского междуречья включает первые и вторые террасы. Первые террасы сложены тяжелосуглинисто-глинистыми отложениями, как правило, сильно заболочены, с господством евтрофных болот и дерново-глеевых почв. Коренная растительность представлена смешанными темнохвойно-лиственными заболоченными лесами в сочетании с сограми. Высокая гидроморфность ланд-

шафта здесь обеспечивается выклинивающимися в подножье второй террасы грунтовыми водами. При сработке в результате действия водозабора грунтовых вод водный режим почв на первых террасах Томи и Оби существенно изменился, начались обсыхание и деградация торфяных залежей. Вторые террасы приподняты, хорошо дренированы, супесчаные с дерново-подзолами под травяными сосняками в зоне сопряжения с ложбинами стока. При сопряжении с древней равниной террасы плоские низкие, суглинистые с серыми и светло-серыми почвами под травяными листовыми лесами, в составе которых принимает участие сосна и кедр. Высокая заболоченность террас, речных долин и ложбин стока повышает разнообразие территории. Общая площадь болот и заболоченных лесов, к примеру в Тимирязевском лесхозе, составляет около 45 тыс. га [6]. Из них более 80% составляют евтрофные болота, приуроченные к долинам Оби и Томи.

Система мониторинга на территории Обь-Томского междуречья охватывает основные гидрологические типы ландшафта, включает пространственно распределенные площадные полигоны, ландшафтно-экологические профили и точки наблюдения. При организации мониторинга (выбор ключевых участков и точек мониторинга) использован геосистемный подход, анализировался разнообразный картографический материал и космоснимки высокого пространственного разрешения. Совмещение полигонов с квартальной лесоустроительной сетью позволяет включить в систему мониторинга материалы лесоустройства различных лет проведения. Полигоны площадью 1–2 км² закладывались в границах квартальной сети на участках, прилегающих к зоне водозабора. На каждом полигоне заложен экологический профиль, пересекающий основные элементы ландшафта и с различной степенью трансформированности, на которых и располагались точки наблюдения. Большое внимание уделялось экотонам – переходным зонам на границе леса и болот, обладающих более высокой чувствительностью к изменениям гидрологического режима. Обследованиями в них повсеместно выявлены перестройки фитоценотических и почвенных границ. При однородных условиях, с целью охвата большего числа геолого-геоморфологических поверхностей, в систему мониторинга включались только точечные объекты наблюдения.

Таким образом, в пределах воронки депрессии заложены 4 площадных и 2 точечных объекта мониторинга (рис. 1). Один полигон расположен за пределами воронки депрессии. Каждому участку присваивался постоянный порядковый номер. Участок (пункт) мониторинга закрепляется на местности, а его координаты вносятся в базу данных. Принята нумерация объектов контроля, позволяющая сохранять преемственность полученной информации. Номер точки мониторинга включает буквенный индекс и номер ключевого участка, номер точки наблюдения. Для графического отображения данных режимных наблюдений при их интерпретации дается ссылка на год наблюдения. В итоге, например, номер M2307 обозначает, что приводимые данные соответствуют показателям, полученным на ключевом участке 2 в точке наблюдения 3 в 2007 г. Объем статьи не позволяет представить динамику вод-

ного режима во всем объеме, на рис. 1–3 приведены только представители каждого из типов местообитаний, но в тексте дается анализ по всем точкам наблюдения.

Ключевой участок M1 (86-й квартал) расположен за пределами границ воронки депрессии, в 23 км от линии водозабора (77–76-й кварталы Жуковского лесничества), включает Кирсановское болото верхового типа. В пределах участка имеются как слабо нарушенные, так и ненарушенные элементы. Характерные для ложбин стока перепады рельефа создают высокие (около 4 м) дюнообразные гряды, переходящие в заторфованные межгрядные понижения. Мощность торфа в центре болота более 3 м. По мере заполнения первичного понижения произошла дифференциация массива на рямовую и топяную части. Измерение влажности проводилось: в подзоле иллювиально-железистом (M11) под сосняком кустарничково-зеленомошным на верхней части гряды; в подзоле глееватом иллювиально-железистом (M12) под сосняком зеленомошным на низкой ступени гряды; на торфяно-подзоле глеевом (M13) под сосняком кустарничково-зеленомошно-сфагновым в переходной части к болоту, уровень болотных вод замерялся в рямовом и топяном участках (M14).

Ключевой участок M2 (Тимирязево) заложен в 3,5 км от первой очереди водозабора (33–34-й квартал Тимирязевского лесничества) в наиболее трансформированной части междуречья. Ландшафтно-экологический профиль, в пределах которого заложены точки наблюдения, – наиболее сложный по строению, т.к. пересекает несколько высотных уровней. Максимальные перепады высот между вершиной гряды и дном болот достигают 14 м. Снижения уровней грунтовых и неравномерная сработка болотных вод привели к дифференциации участка по степени гидрологической трансформации. На профиле заложены 7 точек наблюдения, представляющих несколько типов гидрологического режима. В первую группу входят торфяные почвы болот с относительно ненарушенным наземным покровом и уровнем болотных вод, находящимся в пределах деятельного горизонта (M25, M27). Вторую группу представляют иссушенные торфяные почвы с нарушенным гидрологическим режимом (M21, M22, M24). Третью группу представляют точки мониторинга, заложенные в сосновых фитоценозах на песчаных грядах разного уровня (M21, M23, M26).

Ключевой участок M5 (Моряковка) располагается вблизи третьей очереди водозабора (88-й квартал Моряковского лесничества) и включает сосняки на песчаных грядах, рослые рямы в заболоченных понижениях, различные по составу листовые леса. Для ландшафтно-экологического профиля характерен общий уклон на северо-восток. Профилем пересекаются поверхности, различающиеся по составу отложений: песчаные гряды (M51) замещаются более плоскими поверхностями, сложенными слоистыми супесчано-суглинистыми отложениями (M54). Максимальный перепад высот достигает 6 м. Заболочивание началось в наиболее глубоких центрах ложбин. К настоящему времени произошло объединение первичных центров заболачивания, внутри которых сохранились узкие низкие гряды (M53). Болото сосново-кустарничково-сфагновое с высокими значениями бонитета (IY) и полноты (до 0,6) мощностью торфа до 3 м (M52).

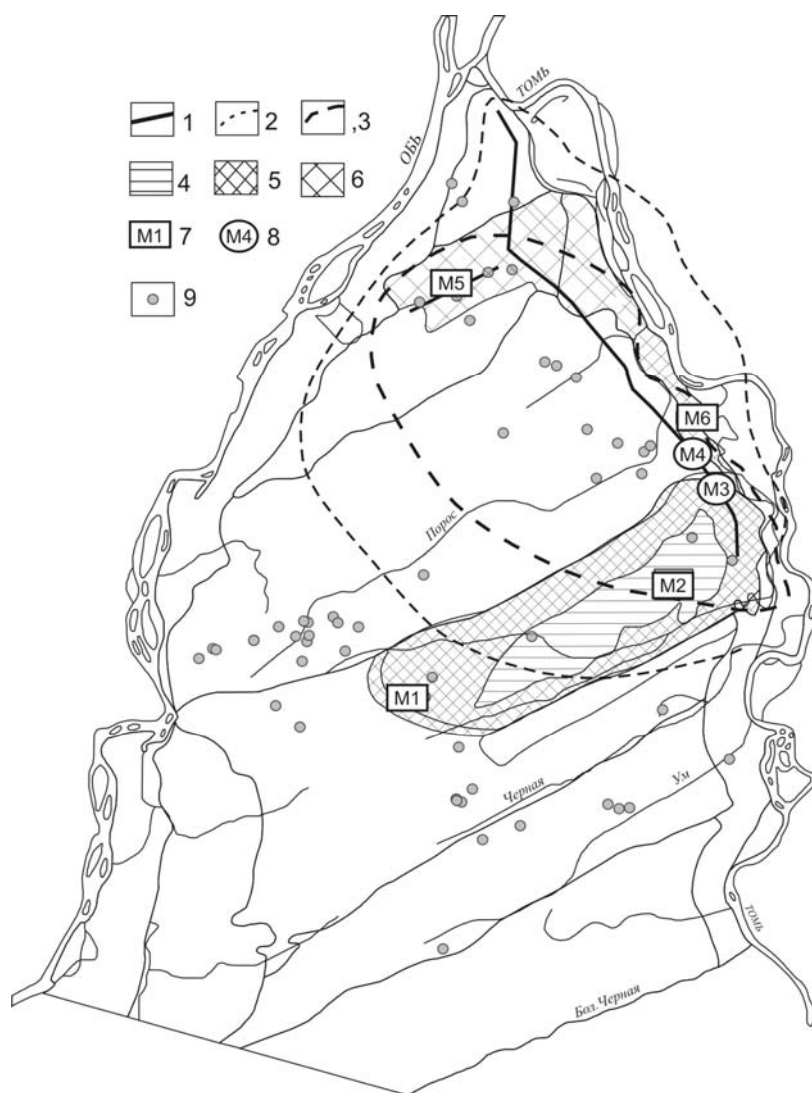


Рис. 1. Схема расположения объектов мониторинга на Обь-Томском междуречье: 1 – линия водозабора. Границы воронки депрессии водоносного горизонта: 2 – неоген-четвертичного; 3 – палеогенового. Степень трансформированности ландшафтов: 4 – сильная; 5 – средняя; 6 – слабая. Объекты мониторинга: 7 – полигоны и ключевые участки; 8 – точечные объекты; 9 – точки рекогносцировочных обследований

Ключевой участок М7 (Нелюбино) заложен на поверхности древней равнины, сложенной суглинистыми отложениями на расстоянии 10–12 км от осевой линии водозабора (в пределах воронки депрессии). Особенностью данного полигона является его приуроченность к ареалу давно распахиваемых высокобонитетных почв. В центре полигона находится сильно деградированный рослый рям, занимающий плоскую ложбину и окаймленный лиственным лесом. Точки мониторинга заложены в центре рья (М74), в переходной части от рья к высокотравному осиново-березовому лесу (М73), в автоморфной позиции на склоне в березняке разнотравном (М72) и на пашне за пределами влияния колка (М71).

Точка мониторинга М3 (Дзержинское) расположена на второй террасе Томи, сложенной с поверхности супесчано-песчаными отложениями под пологом сосняка мелкотравно-зеленомошного.

Точка мониторинга М4 (Коломино) заложена вблизи первой очереди водозабора на суглинистой террасе с серыми почвами под кедровником травяно-зеленомошным.

Наблюдения за водно-температурным режимом на первом этапе (2001–2004 гг.) проводились ежемесячно с

мая по сентябрь включительно в 16 точках наблюдения. Влажность определялась термостатно-весовым методом, а образцы отбирались через 25 см в трехкратной повторности, из трех скважин до глубины 3 м или до глубины залегания грунтовых вод. В августе, в фазу максимальной спелости почв и сработки грунтовых вод, глубина бурения увеличивалась до 5 м. Это позволило вскрыть глубину залегания грунтовых вод и состояние зоны аэрации. В последующие годы исследования проводились только в фазу максимальной спелости почв и контролировались состояние растительного покрова. При рекогносцировочных исследованиях на всей территории воронки депрессии и за ее пределами современное состояние ландшафта сравнивалось с его «характерным», естественным состоянием. Оценка проводилась по состоянию лесного полога, возобновления основных лесообразователей, напочвенного покрова, почв, микрорельефа. Обращалось внимание прежде всего на переходные ландшафты и ландшафты с неустойчивым увлажнением. При выявленных изменениях вскрывались причины и факторы изменений, прямая или опосредованная связь с действующим водозабором.

Погодные условия

В ландшафтно-гидрологическом мониторинге важно установить изменения состояния экотопов, вызванные флуктуацией погодных условий. Эксплуатация водозабора происходит на фоне естественной изменчивости климатических ритмов, которые формируют разнообразие гидрологических состояний почв и обуславливают отклик биотических компонентов на изменение режимов тепла и влаги. Для установления изменчивости погодных условий анализировались известные в современной литературе общие тенденции изменения климата, а для региональных условий – среднемесячные данные по температуре, осадкам по метеостанции Томск за последнее столетие. Временные ряды изменения суммы осадков и средней температуры рассчитаны за следующие периоды: климатический год – с октября предшествующего года по сентябрь следующего года, летний период (с мая по сентябрь), зимний – с октября по апрель.

Глобальный характер потепления не вызывает сомнений, однако изменения климата в последние десятилетия пока не выходят за пределы его естественных флуктуаций на протяжении последнего тысячелетия [7]. По данным временных рядов температур для Томска устанавливается четкая тенденция среднегодового потепления, причем можно отметить, что больший вклад вносит увеличение температур зимнего периода, по сравнению с летними температурами (рис. 2, А). Колебания же увлажнения на региональном уровне, в частности по данным изменений суммы осадков по метеостанции «Томск», проявляются с цикличностью в 11–13 лет и характеризуются увеличением амплитуды изменчивости осадков в последние годы. Сколежизание средние величины с шагом в 5 лет показывают тенденцию увеличения количества как летних, так и зимних осадков (см. рис. 2, В). Отмечаются существенное возрастание за последние 100 лет межсезонных климатических контрастов и рост повторяемости экстремальных гидротермических условий. Согласно данным метеостанции «Томск» экстремальными условиями характеризовались 2002 и 2007 гг., когда летние осадки превысили норму соответственно в 1,5 и 2,3 раза, сухой, с высоким количеством пожаров 2003 г.

Годы, в которые проводились наблюдения, различаются погодными условиями (рис. 2, С). Первому этапу (рекогносцировочным оценкам 2000 г.) предшествовал год с недостаточным увлажнением. Начало наблюдений за динамикой влажности приходится на теплый и средний по увлажнению 2001 г., когда суммы температур и количество осадков в вегетационный период превысили средние многолетние значения. Осадки и зимнего и летнего периода 2002 г. значительно превышали средние многолетние значения. Летний сезон характеризуется ливневыми осадками в июне и низкими количествами в августе. В целом высокое увлажнение проявилось на фоне достаточно высоких температур воздуха. Поэтому год по погодным условиям характеризуется как экстремально влажный и теплый. Среди последних 7 лет по погодным условиям наибольшей сухостью отличался 2003 г., когда в летний период осадков выпало меньше нормы, а температуры были выше средних значений, поэтому год характеризуется как сухой

и теплый. Сезону наблюдения 2007 г. предшествовал погодный цикл с ежегодным увеличением сумм годовых осадков и снижением температур после засушливого 2003 г. Сезон 2007 г. – экстремально влажный и в целом прохладный с короткой фазой высоких июльских температур. Особенности года являются также экстремально теплая многоснежная зима, растянутый весенний сезон и отсутствие периода раннелетней засухи.

Результаты исследования

Проведенные исследования показали, что особенности водного режима почв формируются в соответствии с положением точки наблюдения в ландшафтной структуре, связаны с составом отложений, характером рельефа и растительности. Отложения древней равнины отличаются тяжелым гранулометрическим составом, низкой водопроницаемостью и высокими значениями водоудерживающей способности. Величина наименьшей влагоемкости в иллювиальных горизонтах серых почв превышает 35% или близко к этому значению. Водоносный комплекс четвертичных отложений представлен верховодкой, с глубиной залегания в зависимости от расчлененности рельефа от 3–5 м на площади развития слабодренированных покровных суглинков и до 10–15 м на повышенных хорошо дренированных участках. Гранулометрический состав грунтов в ложбинах стока определяет фильтрацию атмосферной влаги и условия насыщения почвенно-грунтовых вод, с которыми связано современное распределение растительности. Пески обладают хорошей фильтрацией и низкой водоудерживающей способностью. Наименьшая влагоемкость (НВ) в верхних горизонтах песчаных почв составляет от 6 до 9%. В глубоких горизонтах, с повышением сортированности песков, значения НВ снижаются до 4,5–6%. Поверхности ложбин стока характеризуются значительными перепадами высот на протяжении нескольких сотен метров. Нередко в рельефе проявляются «ступени», связанные с неравномерным эрозионным врезом первичных элементов рельефа: ложбин стока и котловин выдувания. Так, перепад высот между центром заторфованной ложбины ландшафтно-экологического профиля М2 (первая ступень) и второй ступенью составляет 8 м, между второй и третьей – 6 м. Статические уровни грунтовых вод иллювиальных средне-верхнечетвертичных отложений древних ложбин стока устанавливаются на глубине 12–18 м [3]. Глубокие ложбины явились центрами заболачивания, и к настоящему времени в них сформировалась торфяная залежь мощностью до 5 м, которая заметно нивелировала поверхность. По мере заполнения торфом первичных понижений, под влиянием формирующихся на периферии растущего болотного массива горизонта грунтово-болотных вод, происходило заболачивание лесов и торфонакопление на более высоких поверхностях. В процессе формирования болот шло образование окраинных топей, на контакте которых с вмещающим песчаным грунтом происходила инфильтрация болотных вод в более глубокие горизонты. За время наблюдений амплитуда колебания уровней болотных вод в ненарушенных местообитаниях составила 15–20 см. Уровень воды опускался ниже живого сфагнового мха лишь в сухой год в августе.

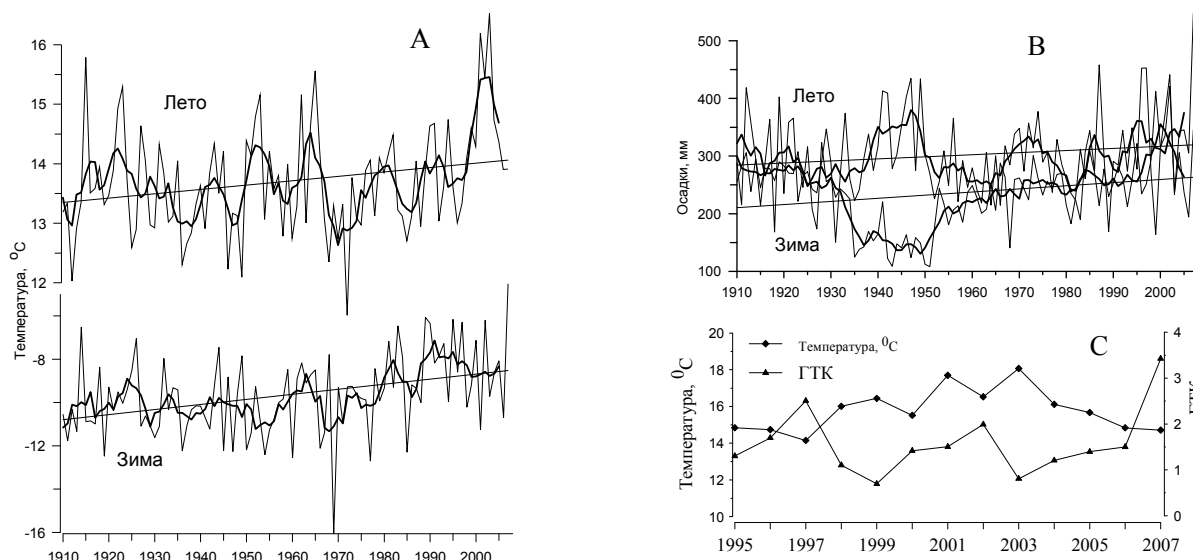


Рис. 2. Многолетний ход температуры (А), осадков (В), средние температуры и ГТК за вегетационный период в годы наблюдений (С). Данные метеостанции Томск. Тонкие линии на рисунках А и В – погодичные величины, полужирные – осредненные с шагом в 5 лет; прямые линии – направление тренда показателей

Водный режим приболотных местоположений. Влияние болотного массива сказывается на гидрологическом режиме почв приболотных местообитаний. В песчаных почвах приболотного пояса (площадки М12, М53) изменение уровней почвенно-грунтовых вод происходит быстро и амплитуда колебания довольно широкая (рис. 3, М12). Во влажный 2002 г. в связи с интенсивной весенней влагозарядкой почв после многоснежной зимы и обильных осадков уровень верховодки залегал на 50–75 см ближе к поверхности по сравнению с более сухими годами. Подъем уровня грунтовых вод начинается не только тогда, когда осадки действительно просочились через всю толщу грунта до уровня грунтовых вод, но и тогда, когда они достигают зоны капиллярной каймы, повышая увлажнение до полной влагоемкости [8]. При этом ускоряется передвижение гравитационной воды книзу, следовательно, и подъем грунтовых вод. Такой механизм передвижения влаги возможен в тех случаях, когда влажность почвы выше ее максимальной капиллярной влагоемкости (2002 г.). В последующий сухой 2003 г. в почвах переходных местообитаний весной уровень воды был близок к уровню осенней влагозарядки предшествующего года. Однако к концу лета уровень грунтово-болотных вод заметно понизился. В целом во влажный год уровень почвенно-грунтовых вод за каждый срок наблюдения выше на 30–50 см, чем в другие годы. При низкой водоподъемной способности песчаных грунтов капиллярная кайма над горизонтом почвенно-грунтовых (грунтово-болотных) вод составила всего 20–25 см. Поэтому при провальной фильтрации на протяжении всего вегетационного периода в профиле почв до глубины 1 м сохраняется горизонт иссушения. Реакция на выпадающие осадки проявляется только в верхней 50-сантиметровой части профиля. Эпюры и графики подчеркивают, что наиболее существенные изменения во влажности почв в разные годы происходят в основном в нижних горизонтах, что связано с насыщением болотно-грунтовых вод, а также и в поверхностных горизонтах почв после выпадения осадков. Влажность в центральной части профиля на протяжении всего периода наблюдений варьирует незначительно.

К августу влажность почв приболотных местоположений приходит в фазу устойчивого равновесия и различается только в экстремально влажные годы (рис. 3, М53-Э).

Динамика влажности почв автономных местообитаний на песках. В подзолах иллювиально-железистых (М11, М23, М51), занимающих высокие поверхности грив, при провальной фильтрации песков, водный режим складывается в соответствии с приходом осадков на поверхность почвы, расхода их на испарение и десукцию. Наблюдения за водным режимом в почвах автономных местообитаний проводилось на достаточно высоких местообитаниях. Превышение точек наблюдения над окраинной частью болота варьирует от 2,5 м (М23, М51) до 4,5 м (М11). Анализ результатов выявил в подзолах иллювиально-железистых сходный режим увлажнения. Типичный профиль по режиму влажности четко дифференцирован: сверху формируется слой насыщения от просачивающейся влаги осадков, в середине формируется горизонт иссушения (десуктивного иссушения и расхода влаги на испарение), ниже проявляется горизонт с повышенными значениями влажности (см. рис. 3, М23). Увеличение влажности в глубоких горизонтах почв связано либо с капиллярным насыщением над уровнем грунтовых вод, либо с зависанием влаги при ее медленном просачивании на локальном водоупоре. В точке М51 на площадке, заложенной в Моряковской ложбине стока (3-я очередь водозабора), находящейся на 3,5 м выше уровня болота, проявились оба механизма. Во влажный год на глубине 275–300 см здесь отмечался горизонт капиллярного грунтового насыщения, а на глубине 175–225 см – горизонт зависания влаги, разделенные слоями с пониженной влажностью (рис. 3, М51-Э). Показательно, что такое соотношение горизонтов сохранилось до июня следующего года, затем граница капиллярного насыщения снизилась до 350 см, над которой сформировался слой с предельно низкими значениями влажности. Такой характер увлажнения связан с присутствием в песчаной толще локальных водоупоров и резким иссушением почвы при «сбросе» с них влаги. Горизонты капиллярного насыщения в почвах других точек наблюдения до глубины 300 см не выявлены

даже во влажные годы. В точке М23 (Тимирязевское лесничество), находящейся только на 2,5 м выше уровня болота, в сухой год горизонт капиллярного насыщения отмечался локально (т.е. ниже его влажность почвы снова уменьшалась), а во влажный год охватывал всю толщу 450–500 см. Горизонт промачивания с влажностью, близкой к наименьшей или чуть выше наименьшей влагоемкости, в поверхностных горизонтах выявляется только во влажные годы. Горизонт же иссушения присутствовал во всех почвах независимо от года увлажнения, однако охватывал разные по мощности слои – меньшие во влажный сезон и более глубокие – в сухой. В среднем горизонт ис-

сушения проявлялся на глубине от 120 до 250 см. Наиболее иссушены дерново-подзолы (М26) под сосновыми молодняками. При этом следует отметить устойчивый характер увлажнения почвы в разные годы и несколько пониженную влажность по всему профилю в августе 2002 г. В сухой 2003 г. практически весь сезон влажность почв до глубины 3 м была значительно ниже наименьшей влагоемкости. В экстремально влажный, с обильными летними осадками 2007 г. отмечалась высокая неоднородность распределения влаги, связанная с неравномерным выпадением осадков и особенностью их передвижения в почвах со слабовыраженной слоистостью состава отложений.

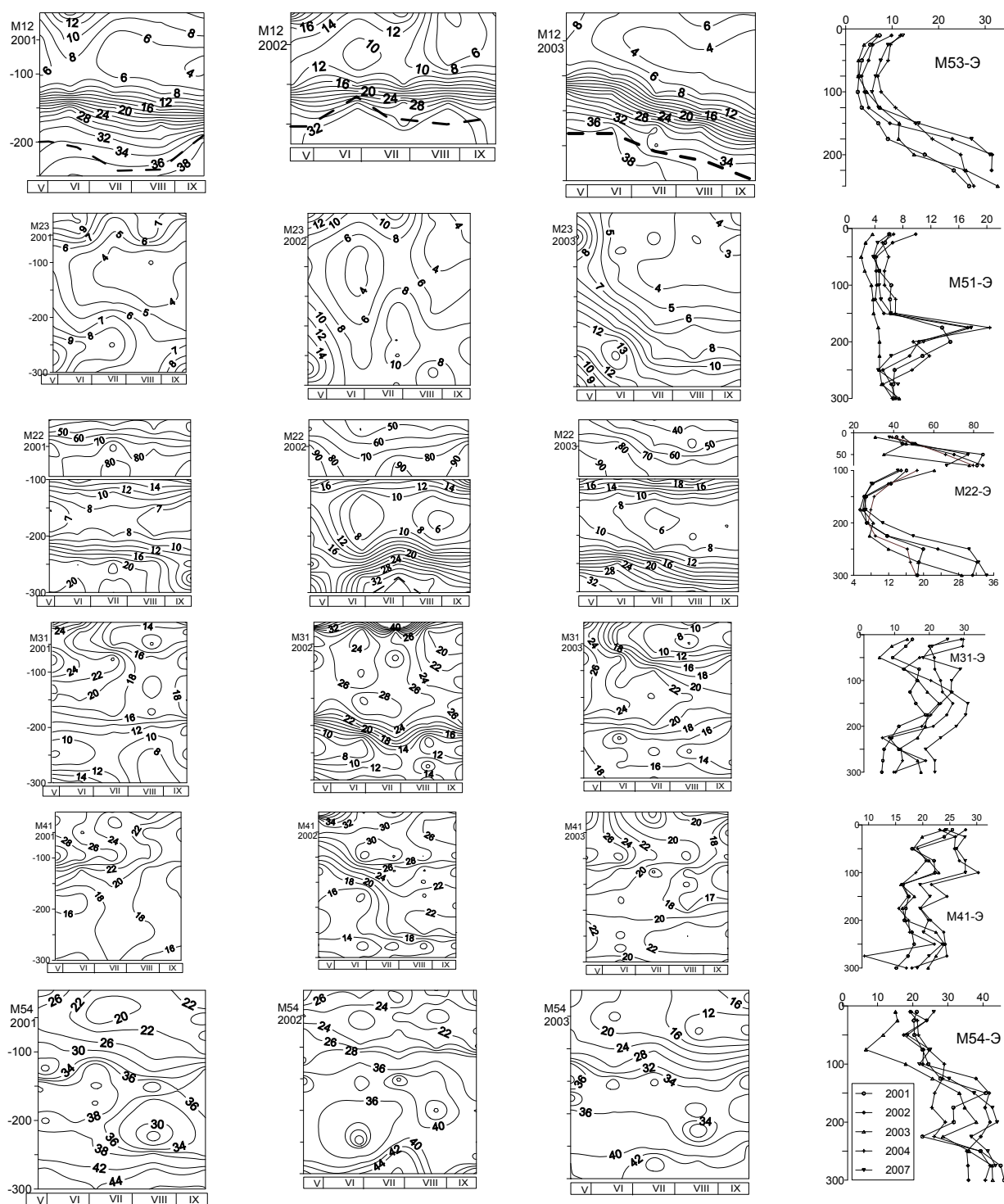


Рис. 3. Хроноизоплеты и эпюры влажности почв различных типов местообитаний (влажность в % от объема)

Водный режим местообитаний с иссушенными торфяными почвами. Ландшафты ложбин древнего стока в зоне, примыкающей к первой очереди водозабора, относятся к категории сильно трансформированных. Наиболее трансформированы заболоченные леса и мелкозалежные болота, формирующиеся в межгрядных понижениях. При отсутствии явного водоупора болотные воды формируются на капиллярной кайме верховодки, аккумулируются и удерживаются торфяным телом. Стабильность водного режима болот, как и ландшафта в целом, определяется мощностью и состоянием торфяной залежи. Небольшие по площади торфяники мощностью до 2 м не способны противостоять протекающим на территории негативным гидрологическим и гидрогеологическим процессам. При сработке верхних горизонтов грунтовых вод в зоне формирования воронки депрессии происходит деградация деятельного горизонта болотных вод, преобразование структуры растительных сообществ. В сосняках кустарничково-сфагновых появляются пятна зеленых мхов и даже лишайников, мочажины начинают затягиваться кустарничками, грядовые клумбы разрушаться. В краевой, обычно наиболее увлажненной части болотного массива, в результате изменения гидрологических условий и ускоренной минерализации торфа формируются участки с полностью нарушенным растительным покровом. Влажность торфа снижается до 35–40%, тогда как в естественных условиях она составляет 85–95%, плотность сложения возрастает в 2–3 раза. Поверхностные слои торфа пересыхают, распыляются и теряют способность впитывать влагу. Мощность торфяной залежи при посадке уменьшилась почти вдвое (М21, М22). Почвенно-грунтовые воды в минеральных горизонтах под торфяной залежью обнаруживаются только во влажный год (см. рис. 3, М22). В присклоновых местоположениях на глубине от 215 до 260 см (М21), 280–320 см (М-22), и 220–300 см (М24) формируются горизонты полного насыщения влагой. К концу влажного сезона, когда в августе–сентябре количество осадков снизилось, на этих глубинах сохранился горизонт с влажностью близкой к полному насыщению, но гравитационная влага не проявилась. Ниже этого слоя влажность почвы уменьшалась, что указывает на существование локальных водоупоров. В последующий сухой 2003 г. до глубины 300 см гравитационная влага обнаружена только в присклоновых местоположениях – точке наблюдения М21. Профильное распределение влажности при бурении до 500 см показывает, что горизонт полного насыщения разделен на два слоя: первый формируется на глубине 250–300 см, а второй – на глубине 400 см. Во влажные годы эти горизонты смыкаются. В сухой 2003 г. горизонт гравитационной воды обнаружен только в почве точки М21, находящейся в подсклоновом местоположении на максимальном удалении от основного болотного массива. Это позволяет предположить участие почвенно-грунтового стока в формировании увлажнения глубоких горизонтов почвы. Причем при следовании серии сухих лет такого притока влаги нет, о чем свидетельствуют графики и эпюры влажности за 2001 г.

Влажность торфяного слоя устойчиво высокая на границе с минеральным горизонтом, а в поверхностных

очень низкая и связана с атмосферными осадками (рис. 3, М21-Э). В минеральных горизонтах под иссушенными торфяниками в разные по увлажнению годы прослеживается близкий ход кривых распределения влажности. Как правило, под торфяной залежью формируется горизонт капиллярного зависания, мощностью 50–80 см, а его мощность определяется накопленной в торфяном теле гравитационной влагой. Ниже влажность уменьшается до значений меньше НВ. Эпюры влажности показывают, что горизонт с неестественно низкими значениями влажности на глубине 150–200 см стабильно сохраняется независимо от условий увлажнения года. Амплитуда изменчивости несколько больше на глубине, что связано с особенностями просачивания влаги в песчаных грунтах и формированием горизонта капиллярной каймы. Во влажные годы влажность минеральных горизонтов выше по сравнению с сухими годами, причем наиболее значимы различия в глубоких капиллярно насыщенных горизонтах.

Динамика влажности почв террас. Дерново-подзолы супесчаные с мощными ортзандовыми прослойками (М31) под сосняками травяными по водному режиму отличаются от режима почв ложбин стока, сложенных сортированными песками. Вертикальному водообмену с нижними слоями здесь препятствуют внутрисочвенные ортзандовые прослойки, над которыми происходит широкое варьирование влажности почв, от 8 до 30 % в поверхностных горизонтах и 8–18% на глубине 50–100 см (см. рис. 3, М31). Ниже ортзандовых слоев влажность снижается до значений НВ типичных для супесчаных почв. Сезонные и межсезонные изменения влажности здесь наибольшие. При сохранении общих закономерностей послыогого поведения влаги, разброс влажности в разные по увлажнению годы достигает 10 % – наибольшее для всех исследуемых местообитаний (рис. 3, М31-Э). Варьирование увлажнения поверхностных горизонтов и относительно высокое богатство супесчаных почв обеспечивают здесь формирование растительных сообществ, отличающихся широким разнообразием, включающим виды, относящиеся к разным экологическим группам.

Динамика влажности серых почв на суглинистых террасах под кедровниками травяными только в верхней части связана с атмосферными осадками. За пределами первого метра влажность почв стабильно низкая даже в экстремально влажный год (см. рис. 3, М41). Это свидетельствует об устойчивом разрыве капиллярной связи с грунтовыми водами и практически полным расходом атмосферных осадков в кедровнике на десукцию и испарение. Значительная часть осадков перехватывается кронами деревьев, что увеличивает площадь испарения. Осадки, достигшие поверхности почв задерживаются в лесной подстилке, перехватываются и используются корнями. Изменчивость влагозапасов в августе хорошо коррелирует с условиями увлажненности года, особенно в первом метре суглинистой толщи. Глубже распределение влажности связано с особенностью просачивания и расхода влаги на десукцию кедровым насаждением. В экстремальный 2007 г. влажность почв была выше по всему профилю (рис. 3, М41-Э). Можно предположить следующий механизм изменения запасов влаги в равномерно фильтрующих суг-

линистых почвах под травяными кедровниками. Во влажный год, даже с учетом расхода влаги на десукцию кедровым фитоценозом, в поверхностных горизонтах поддерживается влажность, близкая к величине наименьшего насыщения, создаются условия для передвижения гравитационной влаги в нижние горизонты. Однако за все годы наблюдения влажность почв на глубине более 150 см была меньше НВ. При этом во влажный год и последующий за ним происходит некоторое увеличение запасов влаги в метровом слое над этим относительно сухим горизонтом. Наличие иссушенного горизонта во все сроки и годы наблюдения свидетельствует об устойчиво сформировавшемся разрыве увлажнения от атмосферных осадков с горизонтом капиллярного увлажнения грунтовых вод, что может быть последствием снижения их уровней. Режим влажности почв под кедровником в настоящее время изменился и более соответствует режиму влажности лесостепных почв, что негативно сказалось на состоянии и продуктивности кедровника. Периодичность урожая и качество ореха снизились, повысилась поражаемость древостоя болезнями и энтомофитовыми вредителями.

Режим влажности светло-серых почв на плоской поверхности Моряковской ложбины стока (М54) под осинником крупнотравным определяется в значительной степени составом отложений – подстиланием супесей плотными и вязкими глинами с высокой водоудерживающей и низкой фильтрационной способностью. С поверхности в рыхлых органогенных горизонтах под сомкнутым пологом высокотравья выпавшие осадки сохраняются длительное время, и растения не испытывают дефицита влаги даже в сухой год. Влажность здесь редко снижается до значений ниже НВ. На границе разных по составу отложений замедляется скорость фильтрации, создаются условия для застаивания влаги и ее медленного расхода. Влажность слоя на глубине 100–150 см достаточно постоянна и варьирует в небольших пределах независимо от условий увлажнения года (рис. 3, М54, М54-Э). Выше (25–75 см) формируется горизонт с высоким варьированием влажности. Влажность нижележащих горизонтов (150–250 см), в которых замедляется передвижение влаги, неустойчива и определяется больше весенним влагонакоплением, чем выпадающими в этот сезон осадками. В глубоких горизонтах (более 275 см) насыщение влагой постоянно высокое и глины находятся в мягкопластичном состоянии. Гравитационной влаги до глубины 5 м не отмечено даже в экстремально влажный год.

Проведенные наблюдения за *водным режимом* на поверхности *древней равнины*, сложенной суглинистыми отложениями (М7), показали существенные отличия от вышеописанных. Здесь сказались приуроченность к замкнутому депрессионному понижению (М74), в котором накапливаются снеготалые воды, их проникновение в более глубокие горизонты и латеральное растекание, снижение процессов десукции и расходования влаги из глубоких горизонтов почв полевыми культурами (М71). Поэтому на протяжении всего вегетационного периода на глубине более 1,5 м сохранялись значительные (выше НВ) запасы почвенной влаги, в то время как в поверхностных горизонтах отмечались высокая контрастность увлажнения и явный

дефицит влаги в июне–июле. Сформировавшийся в это время на глубине 25–75 см горизонт иссушения прослеживается до конца вегетационного периода (М71). Почва под лесом характеризуется меньшей контрастностью профиля по увлажнению. Однако и здесь обнаруживается на глубине 50 см горизонт иссушения (М72). На границе с болотом в поверхностных и глубоких горизонтах на протяжении всего срока наблюдений прослеживались высокие значения влажности, в то же время на глубине 50–80 см во вторую половину лета сформировался горизонт иссушения, в котором произошел разрыв капиллярных связей (М73).

Заложенная в 2000 г. система мониторинга за состоянием природной среды в зоне действия Томского водозабора выявила изменение гидрологического режима ландшафтов на всей его территории. К настоящему времени уже накоплен ряд наблюдений, охватывающий различающиеся по увлажнению годы: умеренно влажный и теплый 2001 г.; влажный и умеренно теплый 2002 г.; относительно сухой и теплый 2003 г.; умеренно влажный и умеренно теплый 2004 г. и экстремально влажный и прохладный 2007 г. Экстремальность последнего года позволила более определенно вычленив климатический сигнал, определить значимость техногенных факторов в происходящих на исследуемой территории процессах.

Исследования показали, что водный режим почв, расположенных в разных типах ландшафта, неодинаково реагирует на внешние возмущения. Наиболее устойчивы почвы и биогеоценозы автономных позиций. Варьирование влажности, связанное с влиянием атмосферных осадков, здесь затрагивает только верхнюю часть почвенной толщи, нижние горизонты более связаны с наметившейся тенденцией иссушения почвенно-грунтовой толщи в результате разрыва атмосферного и грунтового увлажнения. Поэтому в сухие годы усиливается стрессовый режим увлажнения фитоценозов, повышается опасность возникновения пожаров. Наименее устойчивы почвы переходных по гидрологическому режиму ландшафтов, к которым относятся заболоченные леса и мелкозалежные болота, участки с транзитными потоками влаги. При разрыве грунтового и атмосферного увлажнения в болотах при провальной фильтрации песков происходит направленное иссушение торфяных залежей. Деятельный горизонт болотных вод торфяной залежи при отсутствии подпора грунтовыми водами не восстанавливается. Устойчивые изменения торфяной залежи наиболее заметны в ландшафтах, примыкающих к первой очереди водозабора, и могут связываться с действием водозабора. Снижение уровней глубоких горизонтов грунтовых вод особенно заметно в местообитаниях, где в водном питании болот принимали участие выклинивающиеся склоновые воды. В настоящее время уровень почвенно-грунтовых вод снижен. Во влажные годы горизонт гравитационной влаги здесь на 2 м выше (230–250 см) по сравнению с сухими (420 см). В напочвенном покрове деградированных торфяников нами за все годы исследований не отмечалось восстановления сфагнового покрова. Встречаются только небольшие по размерам, пульсирующие в соответствии с динамикой погодных условий латки сфагновых мхов. Визуальные наблюдения за

растительностью показали, что основной фон на деградированных торфяниках создают мертвопокровные участки, включающие небольшие по размеру парцеллы с угнетенным покровом из зеленых мхов и лишайников. Во влажный год отмечаются расширения участков, покрытых зелеными мхами, увеличение их вертикальных приростов мхов. Болотные системы с большой мощностью торфа и грунтовым типом водного питания более устойчивы, сохраняют естественный тип растительного покрова. Заметных изменений растительного покрова в автономных позициях рельефа, связанных с изменением гидрогеологических условий, за все годы наблюдений не выявлено.

Таким образом, проведенные исследования выявили происходящие изменения в водном режиме почв и ландшафтов и их очевидную связь в центральной, наиболее глубокой части воронки депрессии с действием

водозабора. Индикатором являются сработка уровня болотных вод и деградация болотной растительности, устойчивость горизонта иссушений в почвах автономных позиций. На остальной территории признаки негативного воздействия водозабора слабо выражены. Как отмечено в [9], природные изменения водного режима и режима грунтовых вод за продолжительные интервалы времени происходят вокруг среднего многолетнего значения. Техногенные же изменения режимов и уровней подземных вод подчиняются закону однонаправленных, трендовых колебаний. Наблюдаемые нами изменения в гидрологическом режиме почв на территории Обь-Томского междуречья следует считать накапливающимися и представляющими в перспективе опасность возникновения кризисных ситуаций, снижения продуктивности лесов и рекреационной привлекательности территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронков Н.А. О гидрологической роли почв и некоторых экологических методах управления водными ресурсами // Почвоведение. 1993. № 9. С. 55–63.
2. Воронков Н.А. Роль лесов в охране вод. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 285 с.
3. Попов В.К. Формирование и эксплуатация подземных вод Обь-Томского междуречья. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2002. 143 с.
4. Хромых В.В. Природа и ландшафты юга Обь-Томского междуречья // Вопросы географии Сибири. Томск, 1997. Вып. 22. С. 198–211.
5. Дюкарев А.Г. Типология земель на основе структур почвенного покрова как способ эколого-хозяйственной организации Обь-Томского междуречья // Вопросы географии Сибири. Томск, 2001. Вып. 24. С. 272–286.
6. Платонов Г.М. Болота северной части междуречья Томи и Оби // Заболоченные леса и болота Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 65–97.
7. Глобальное потепление. М.: МГУ, 1993. 272 с.
8. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. М.: Изд-во АН СССР, 1936. 314 с.
9. Роговой П.П. Водный режим почв на территории Беларуси. Минск: Наука и техника, 1972. 303 с.

Статья представлена научной редакцией «Биология» 14 мая 2009 г.