

А.Г. Гендрин*, **Г.Г. Румянцева***, **В.П. Колмогоров****,
Ю.П. Мыльников*, **М.П. Щеголихина****, **С.В. Квашнина****

О методике установления водоохраных зон для верховых болотных массивов с использованием данных дистанционного зондирования и ERDAS IMAGINE

**ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК»,
**ООО «Нефтестройизыскания», г. Томск*

Поступила в редакцию 17.06.2004 г.

На примере территории деятельности ОАО «Томскнефть» ВНК показана применимость для решения поставленной задачи методических подходов, основанных на дешифрировании данных дистанционного зондирования для определения гидрологических характеристик микроландшафтов болотных систем.

В пределах болотных массивов на основе материалов дешифрирования аэрофото- и космических снимков выделяются микроландшафты с одинаковым законом изменения модуля проточности вдоль любой линии стекания, являющиеся зоной концентрации стока болотных вод (осоково-гипновые, гипново-осоковые и мохово-травяные, сильно обводненные грядово-мочажинные и грядово-озерковые микроландшафты).

Водоохранная зона устанавливается от границы указанных микроландшафтов болотных массивов на прилегающей суходольной территории в соответствии с принципами действующего нормативного документа.

При существующем уровне технологии обустройства и эксплуатации нефтегазовых месторождений определение водоохраных зон (ВЗ) и прибрежных защитных полос (ПЗП) поверхностных водных объектов оценивается как важнейшее природоохранное мероприятие, входящее в систему приоритетов региональной политики природопользования. Для природно-климатических условий Западной Сибири особую значимость приобретает задача установления ВЗ болотных массивов.

Базовым документом для установления ВЗ является Постановление Правительства РФ № 1404 от 23 ноября 1996 г. [1]. Установление минимальных ширин водоохраных зон водотоков и озер в соответствии с ним четко регламентировано и не вызывает методических затруднений при подготовке проектной документации. С другой стороны, установление ВЗ для болот оказывается достаточно сложной задачей ввиду отсутствия рекомендаций для условий Западной Сибири.

Отсутствие конкретных методических указаний затрудняет разработку проектов водоохраных зон, а также проектных документов на разработку и обустройство месторождений нефти и газа.

По материалам дешифрирования аэрофото- и космических снимков, а также по результатам инженерно-экологических изысканий, проводившихся ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК» в 2001–2004 гг., и по результатам экспедиционных воднобалансовых исследований Западно-Сибирской экспедиции Государственного гидрологического института (ГГИ) [2–6] выполнена гидрологическая характеристика болотных массивов. Дешифрирование аэрофото- и космиче-

ских снимков в интересах различных приложений используется в настоящее время достаточно широко. Например, для спутникового мониторинга лесов в оперативном режиме используются различные оптико-электронные приборы космического базирования, разработаны соответствующие программы обработки многоканальных изображений земной поверхности, которые успешно используются как на региональном, так и на федеральном уровне [7, 8].

Дешифрирование аэрофото- и космических снимков состояло в использовании прямых и косвенных дешифрировочных признаков для определения ряда характеристик строения и структуры болотных массивов и микроландшафтов, их физических свойств и гидрологических условий. Дешифрирование позволяет надежно выделить территорию болотного микроландшафта, определить тип болотного массива, типы, границы и закономерности распределения болотных микроландшафтов, установить границы внутриболотных водосборов, характер и размеры элементов внутриболотной гидрографической сети, определить направления движения болотных вод. Итогом работы являются типологическая карта болотного массива и сетка линий стекания болотных вод. Сетка линий стекания отображает направления движения поверхностных и фильтрационных вод на болотных массивах. Методика, дешифрировочные признаки (прямые и косвенные), приемы построения, а также область применения сеток при гидрологических исследованиях были разработаны К.Е. Ивановым [3–5].

В развитии болотных массивов К.Е. Иванов [5] выделяет три фазы. Выделение фаз имеет принципиальное значение для анализа и расчетов водного режима болот.

В *первой фазе* баланс водного питания болотного массива складывается из трех составляющих: осадков, выпадающих на поверхность болота; воды, поступающей к болотному массиву из водоносных горизонтов окружающих его земель, и количества воды, поступающей путем поверхностного притока с окружающих его более возвышенных территорий.

Во *второй фазе* в балансе водного питания болотного массива могут сохраняться все те же составляющие, но распределение воды от различных источников питания по территории массива будет уже другим. Различные участки болота во второй фазе будут иметь неоднородное по химическому составу и минерализации воды питание, что отразится в большей дифференциации и неоднородности растительного покрова на различных его участках.

В *третьей фазе* вследствие выпуклого рельефа участие поверхностных и безнапорных грунтовых вод в питании массива либо совсем исключается, либо ограничивается только узкой полосой на границе торфяной залежи массива с минеральными землями. В этой фазе может иметь место наибольшая дифференциация растительного покрова: от евтрофной до олиготрофной.

Рассмотренные три основные фазы в развитии изолированного болотного массива характеризуют периоды, в которые менялся рельеф болота и изменялись условия его водного питания. В пределах каждой фазы выделяются последовательные стадии в развитии болотных массивов, отличающиеся закономерностями распределения растительных группировок по территории массива и различной формой рельефа.

В болотных массивах, находящихся в естественном состоянии, выделяются два различных по гидрофизическим характеристикам горизонта: верхний деятельный и нижний инертный.

Водопроницаемость деятельного горизонта неосушенных болотных массивов в тысячи и десятки тысяч раз превышает коэффициенты фильтрации пластов торфа, составляющих инертный горизонт. Пределы изменения коэффициента фильтрации в деятельном горизонте — от $a \cdot 10^{-2}$ до $a \cdot 10^2$, где a — положительное число от 1 до 10.

Согласно определениям болотного микроландшафта (или фации) и деятельного горизонта [3–5] физические свойства деятельного горизонта в пределах территории, занимаемой одним и тем же микроландшафтом, остаются неизменными. Таким образом, в пределах площади болотного микроландшафта неизменными являются следующие характеристики: мощность деятельного горизонта; средний коэффициент фильтрации в фильтрующем слое; единичный горизонтальный расход при определенном уровне грунтовых вод; химический состав вод; функция распределения коэффициентов фильтрации в деятельном слое; зависимость водоотдачи от уровня болотных вод; модуль проточности. Совокупность постоянных значений названных величин представляет собой гидрологическую характеристику болотного микроландшафта [5]. Гидрологическая характеристика болотного массива, в свою очередь, должна отражать свойства целой группы взаимо-

связанных болотных микроландшафтов. Гидрологической характеристикой болотного массива в наиболее общей форме является совокупность зависимостей модуля проточности от характеристик линий стекания на всей территории болотного массива, так как значения модулей проточности в горизонтальном и вертикальном направлениях характеризуют интенсивность водообмена болотного массива в данном его месте и являются сравнимыми физическими характеристиками для различных типов болотных микроландшафтов [5].

Специфика растительного покрова болот определяет различия, которые хорошо видны на космическом снимке. Кроме того, информация, содержащаяся в ближнем ИК-диапазоне, позволяет идентифицировать различные типы болот. На основе дешифрирования летних космоснимков, полученных со спутника Landsat-7, выделяются болотные микроландшафты с одинаковым законом изменения модуля проточности. При дешифрировании использовались цветовой синтез 3, 4 и 5-го каналов, соответствующих красному видимому и ближнему инфракрасному диапазону спектра. Эти каналы являются наиболее информативными при дешифрировании растительности, так как соответствуют максимальной спектральной яркости растительного покрова (0,63–1,75 мкм).

Обработка снимков производилась в системе ERDAS IMAGINE 8.6. В качестве наземного обоснования результатов дешифрирования использовались полевые данные обследования болот. На основе данных наземного обоснования было создано 5 независимых наборов эталонов для микроландшафтов верховых болот. Качество эталонов оценивалось с помощью гистограмм и графиков средних значений спектральных яркостей (рис. 1). Классификация изображений по эталонам проводилась по принципу мак-

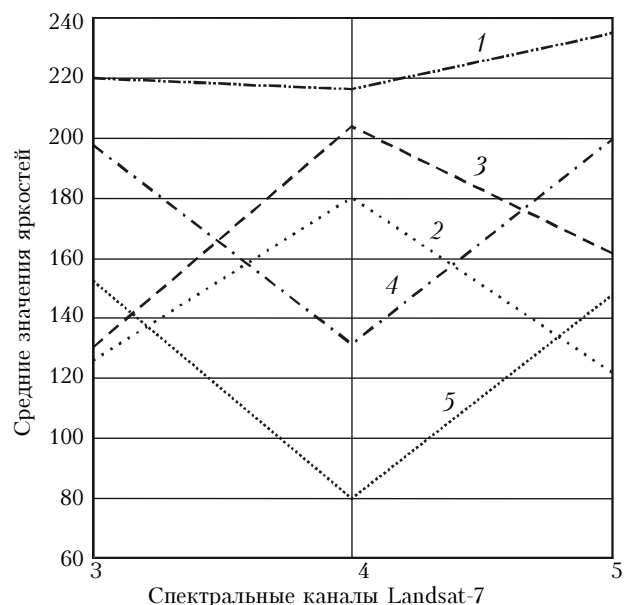


Рис. 1. Диаграмма разделимости микроландшафтов верховых болот в 3, 4 и 5-м спектральных каналах Landsat-7: 1 — мохово-травяные (сфагново-осоково-пушицевые); 2 — сосново-кустарничковые; 3 — сосново-сфагново-кустарничковые; 4 — грядово-мочажинные (менее обводненные); 5 — сильно обводненные грядово-мочажинные

симального правдоподобия в качестве параметрического решающего правила.

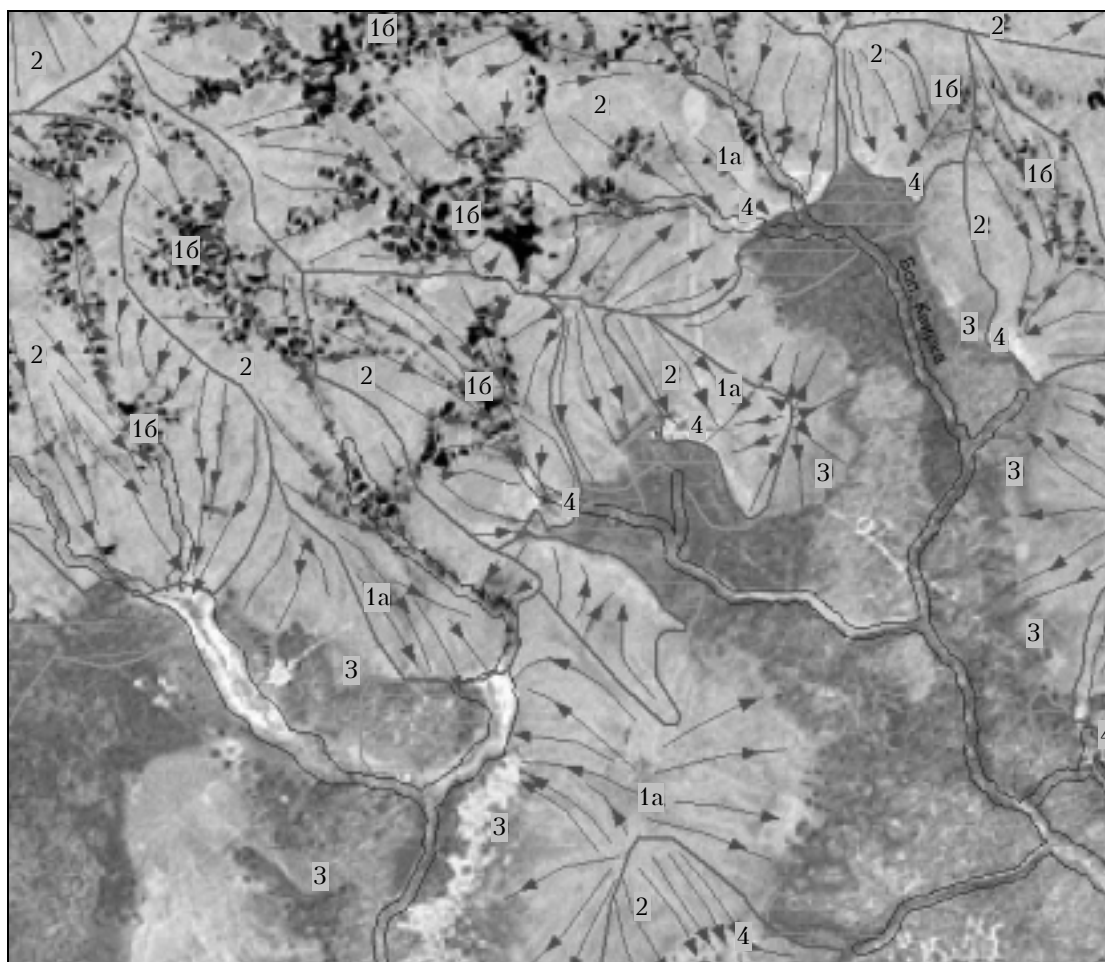
В пределах болотных массивов на основе материалов дешифрирования аэрофото- и космических снимков выделяются микроландшафты с одинаковым законом изменения модуля проточности вдоль любой линии стекания. На рис. 2 представлен космический снимок территории Двуреченского месторождения, на который нанесены контуры локальных водосборов, микроландшафтов и показаны линии стекания. Гидрологические характеристики наиболее типичных микроландшафтов болотных массивов в пределах заболоченных водосборов Томской области, по К.Е. Иванову [3, 5], представляются следующими значениями модулей проточности и уклонов поверхности болота:

1а. Грядово-мочажинные со сфагново-кустарничковыми, облесенными сосной грядами, сфагново-шейхцериевыми и сфагново-пушицевыми мочажинами,

с модулем проточности $2,7-15 \text{ см}^2/\text{с}$, средней многолетней величиной проточности $0,8-3,0 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км})$ и уклоном поверхности $0,0018-0,0035$.

1б. Сильнообводненные грядово-мочажинные и грядово-озерковые со сфагново-кустарничковыми и сфагново-кустарничково-пушицевыми не облесенными или редко облесенными грядами и сфагново-шейхцериевыми мочажинами частично с открытой водной поверхностью, или озерами, с модулем проточности $140-170 \text{ см}^2/\text{с}$, средней многолетней величиной проточности $11-15 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км})$ и уклоном поверхности $0,0008-0,001$.

2. Сосново-сфагново-кустарничковые (высота древостоя $4-6 \text{ м}$), сфагново-кустарничковые и сфагново-кустарничково-пушицевые, облесенные сосной с модулем проточности $1,4-2,5 \text{ см}^2/\text{с}$, средней многолетней величиной проточности $0,7-2,0 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км})$ и уклоном поверхности $0,00125-0,008$.



Условные обозначения:

Микроландшафты верхового болота:

- 1а – грядово-мочажинные (менее обводненные); 1б – сильно обводненные грядово-мочажинные и грядово-озерковые;
 2 – сосново-сфагново-кустарничковые (высота древостоя $4-6 \text{ м}$), сфагново-кустарничковые;
 3 – сосново-кустарничковые (высота древостоя $9-13 \text{ м}$); 4 – осоково-гипновые, гипново-осоковые и мохово-травяные.

Прочие обозначения:

- граница локального водосбора; ↘ линии стекания;
 ≡ водоохранная зона верхового болота; □ водоохранная зона водотоков, озер

Рис. 2. Космический снимок Двуреченского месторождения

О методике установления водоохранных зон для верховых болотных массивов...

3. Сосново-кустарничковые (высота древостоя 9–13 м) с модулем проточности $0,5–0,7 \text{ см}^2/\text{с}$, средней многолетней величиной проточности $0,5–1,5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км})$ и уклоном поверхности $0,01–0,02$.

4. Осоково-гишновые, гишново-осоковые и мохово-травяные с модулем проточности $170–240 \text{ см}^2/\text{с}$, средней многолетней величиной проточности $5–9 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км})$ и уклоном поверхности $0,0001–0,0005$.

Анализ гидрологических характеристик микроландшафтов, материалов дешифрирования аэрофото- и космических снимков и результатов наблюдений за стоком, проводившихся на болотных станциях Гидрометслужбы Западно-Сибирской экспедицией ГГИ [3–5] и в ходе проведения инженерно-экологических изысканий отдела экологии ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК» [9], позволяет выделить микроландшафты, в пределах которых концентрируется болотный сток, поступающий в дальнейшем непосредственно в первичную гидрографическую сеть (ручьи, речки).

Проанализированы наблюдения, проводившиеся на типичных для зоны выпуклых олиготрофных торфяников болотных массивах водораздельно-склонового залегания и системе болотных массивов, включающей как верховые грядово-мочажинные болотные мезоландшафты, так и низинные массивы [4]. Из гидрографов видно, что сток с болотных массивов, представленных верховыми массивами, следует ходу уровней болотных вод и в летне-осенний период прекращается на длительный период при следующих значениях уровня болотных вод в моменты прекращения и возобновления стока: от -32 до -38 см (-40 см по данным ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК») от поверхности пониженной в сфагново-кустарничковом, облесенном сосной микроландшафте. Однако не во все годы имеет место нулевой минимальный сток в летние и зимние периоды. Сток в течение всего года наблюдался в ситуации, когда количество осадков было достаточно велико и уровни грунтовых вод не снижались до нижней границы деятельного горизонта.

Таким образом, данные фактических наблюдений показывают [4, 9]:

1. Сток с естественных болотных массивов во внешние водоприемники продолжается до тех пор, пока горизонт грунтовых вод стоит в пределах деятельного слоя болота.

2. Водоприемниками болотного стока являются элементы первичной гидрографической сети — ручьи, речки. Поверхностный сток в ручьях и речках формируется за счет концентрации стока в микроландшафтах, имеющих наибольшие значения модулей проточности, — проточных топях, краевых топяных ложбинах (осоково-гишновые, гишново-осоковые и мохово-травяные микроландшафты), сильно обводненных грядово-мочажинных и грядово-озерковых микроландшафтах. По данным [6], более 50% стока с болот проходит по первичной гидрографической сети (ручьи, реки).

3. Сток с менее обводненных грядово-мочажинных (с модулем проточности $2,7...15 \text{ см}^2/\text{с}$), сосново-сфагново-кустарничковых, сфагново-кустарничковых и сфагново-кустарничково-пушицевых (облесенные сосной), сосново-кустарничковых микроландшафтов фильтрационным потоком поступает

на прилегающие территории, где в результате инфильтрации происходит перевод его в почвенно-грунтовую влагу.

4. По периферии болотных массивов выделяется зона аккумуляции талых вод, представляющая собой полосу заболоченных лесов, водоотдача в которой формируется за счет таяния местного снежного покрова и поступления талых вод с болот. В этой зоне в полосе дренирования первичной гидрографической сетью формируется русловой сток и происходит пополнение влагозапасов почвогрунтов.

5. Длительные бессточные периоды в летние и зимние месяцы являются характерными для болотных массивов, во время которых не обеспечивается постоянное и устойчивое питание речных водосборов. Наличие в речных водосборах болотных массивов не способствует зарегулированности стока.

6. Верховые болота трансформируют лишь атмосферную влагу, выпадающую на их поверхность, представляя тем самым лишь определенную разновидность условий склонового стекания.

Определенные в результате стационарных и экспедиционных наблюдений закономерности формирования стока с болотных массивов позволяют достаточно надежно рассчитать водообмен в заболоченных речных водосборах.

В зоне выпуклых олиготрофных болот наибольшее распространение имеют водораздельные болотные массивы, отдельные части которых входят в территорию двух или большего числа различных сложных речных бассейнов. В качестве примера можно привести расчет составляющих водного баланса для водосбора со следующими характеристиками: площадь болот — 43%, заболоченных земель — 26%, площадь незаболоченных угодий — 31% [5].

Исходя из предположения, что за многолетний период все средние годовые изменения влагозапасов стремятся к нулю, получили следующие величины составляющих годового водного баланса заболоченного водосбора с болотными массивами водораздельного залегания (в среднем за 6 лет наблюдений):

— осадки 711 мм; испарение 498 мм; сток 244 мм;

— поверхностный (горизонтальный) сток с болотных массивов равен 186 мм, значительная часть его концентрируется в микроландшафтах с наибольшими модулями проточности в весенний период (в остальной период года водоотдача весьма мала);

— за 6 лет водосбор в целом имел незначительное подпитывание грунтовыми водами — в среднем 31 мм.

Таким образом, с учетом вышеприведенных выводов об особенностях формирования стока с болотных массивов и с заболоченных водосборов, представляется обоснованной в рамках действующего «Положения ... № 1404» следующая схема установления водоохраных зон верховых болот.

— В соответствии с [1] определяются водные объекты — верховые болота, формирующие сток в водосборном бассейне.

— По материалам дешифрирования аэрофото- и космических снимков и результатам наземных обследований определяются фрагменты болотных массивов — микроландшафты с наибольшими значениями модулей проточности, в пределах которых кон-

центрируется болотный сток и формируется поверхностный сток в первичной гидрографической сети (осоково-гипновые, гипново-осоковые и мохово-травяные микроландшафты, сильно обводненные грядово-мочажинные и грядово-озерковые микроландшафты).

– Водоохранная зона устанавливается от границы осоково-гипновых, гипново-осоковых и мохово-травяных микроландшафтов болотных массивов, на прилегающей суходольной территории в соответствии с [1] как для озер (в зависимости от площади локальных водосборов обводненных микроландшафтов).

– Водоохранная зона устанавливается от границы сильно обводненных грядово-мочажинных и грядово-озерковых микроландшафтов болотных массивов, на прилегающей суходольной территории в соответствии с [1] как для озер (в зависимости от площади локальных водосборов сильно обводненных грядово-мочажинных и грядово-озерковых микроландшафтов).

– Использование спутниковых данных для решения поставленных задач без атмосферной коррекции целесообразно только в тех случаях, когда можно считать атмосферу прозрачной. Контроль этого состояния можно осуществить, основываясь на данных программного продукта MODIS AEROSOL PRODUCTS (MOD04).

1. *Положение* о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах (утверждено По-

становлением Правительства Российской Федерации от 23 ноября 1996 г. № 1404).

2. *Ресурсы* поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Л.: Гидрометеониздат, 1972. Т. 15. Вып. 2. 406 с.
3. *Болота* Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / Под ред. К.Е. Иванова, С.М. Новикова. Л.: Гидрометеониздат, 1976. 448 с.
4. *Иванов К.Е.* Основы гидрологии болот лесной зоны и расчеты водного режима болотных массивов. Л.: Гидрометеониздат, 1957. 500 с.
5. *Иванов К.Е.* Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеониздат, 1975. 279 с.
6. *Иванов К.Е., Новиков С.М.* Гидрологическая роль торфяников СССР // Гидрологическая роль торфяных месторождений и использование их в сельском хозяйстве. Минск, 1981. С. 20–24.
7. *Спутниковый мониторинг* лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы. Satellite Monitoring of Forrest Fires in Russia. Results. Problems. Perspectives: Аналит. Обзор / Ред. В.В. Белов. Новосибирск: ГПНТБ, 2003. 135 с.
8. *Афонин С.В., Белов В.В.* Эффективность применения спутниковых технологий для оперативного мониторинга лесных пожаров в Томской области // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 6. С. 1–9.
9. *Разработка* программы экологического мониторинга за природной средой территории Двуреченского, Западно-Моисеевского нефтяных месторождений: Отчет о НИР. Т. 2. Инженерно-экологические изыскания на территории Двуреченского, Западно-Моисеевского нефтяных месторождений. Томск: ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК», 2000. 264 с.

A.G. Gendrin, G.G. Rumyantseva, V.P. Kolmogorov, Yu.P. Mylnikov, M.P. Shchegolikhina, S.V. Kvashnina. On the technique of establishment of water protection zones for upper marshy tract systems using remote probing data and ERDAS IMAGINE.

In this paper, for the territory of JSC «Tomskneft VNK» operation, the applicability of methodical approaches based on interpretation of remote probing data in order to determine hydrological properties of marshy system micro-landscapes aimed is shown.

Micro-landscapes possessing the same law of flowage change along any sink line, which serve as concentration zone of marshy waters drainage, are distinguished within marshy tracts (sedge-Hypnum and Hypnum-sedge, well water-cut hollow-ridge, and lake-ridge microlandscapes) on the basis of information obtained as a result of air and space image interpretation.

Water protection zone is marked starting from the edge of indicated marshy tract micro-landscapes at the adjacent dry territory in compliance with the principles of an ongoing regulatory document, the same as for lakes.