



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии  
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(бакалаврская работа)

На тему Геоинформационное моделирование характеристик водосборного бассейна реки Амга

Исполнитель Самойлова Екатерина Сергеевна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доктор биологических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Лекомцев Петр Валентинович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

Канд. геогр. наук, доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович  
(фамилия, имя, отчество)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Санкт–Петербург

2022

## Оглавление

Введение .....	3
Глава 1 Характеристики района исследования .....	5
1.1 Рельеф .....	5
1.2 Климат.....	6
1.3 Многолетняя мерзлота .....	8
1.4 Почва .....	9
1.5 Растительность. ....	11
Глава 2 Использование геоинформационных систем в природопользовании .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Глава 3 Определение характеристик водосборного бассейна реки Амги для геоинформационного моделирования.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Бассейн реки Амга.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Глава 4 Выбор метода геоинформационной системы для моделирования .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Основные геоморфометрические параметры, рассчитываемые на основе производных первого порядка.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.1 Показатель крутизны склона (уклон поверхности) <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
4.1.2 Пространственная ориентация (экспозиция склона) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Глава 5 Моделирование водосборного бассейна реки Амга с использованием данных дистанционного зондирования и геоинформационной системы	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## 5.1 Расчёт характеристик водосборного бассейна **Error! Bookmark not defined.**

Заключение .....	13
Список используемой литературы .....	14

### Введение

В настоящее время данные, полученные с помощью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационные системы (ГИС) активно используются для изучения и решения широкого спектра социально-экономических задач.

В частности, использование ГИС при моделировании характеристик водосборного бассейна водных объектов на основе использования данных дистанционного зондирования в технологический процессе и их анализ позволяет автоматизировать процесс и ускорить принятие управленческих решений

Следует подчеркнуть, что непосредственное определение величины водосборного бассейна требует больших финансов затрат и проведения сложных инженерно-технических мероприятий, однако использование же данных ДЗЗ и стандартных, свободно распространяемых геоинформационных систем позволяет избежать указанных проблем, что несомненно подтверждает актуальность выбранной темы.

Сегодня геоинформационные системы используются во многих сферах жизнедеятельности человека: экономике, картографии, экологии, метрологии, землеустройстве. Одним из преимуществ ГИС является создание сценария ситуаций посредством одновременной обработки описательной и числовой информации, кроме этого, так же возможен анализ итогов создаваемых

моделей.

Целью работы является определение (моделирование) водосборного бассейна реки Амга по данным дистанционного зондирования с использованием методики геоинформационного моделирования и анализ полученных результатов.

Задачами данной работы являются:

1. По результатам анализа данных дистанционного зондирования и с использованием методики геоинформационного моделирования определить область водосборного бассейна реки Амга
2. Определить характеризующие признаки водосборного бассейна реки Амга
3. Провести анализ характеристик водосборного бассейна реки Амга по результатам проведенного моделирования.

## Глава 1 Характеристики района исследования

Расположение Республики Саха относится к территории 55°29'- 76°46' северной широты, занимает территорию 2,5 тыс. км с запада на восток, и 2 тыс. км - с севера на юг, площадь составляет 3,1 млн км. кв км. Примерно 90% территории Якутии относится к зоне вечной мерзлоты, что составляет 2,8 миллиона км<sup>2</sup>. Якутия – наибольшая территория республик в России. Город Якутск - столица республики. Почти 40% территории республики располагается за Полярным кругом [1].

### 1.1 Рельеф

К крупным тектоническим структурам - Верхояно-Чукотской и Сибирской платформе области мезозойской складчатости принадлежит данная территория. Строение рельефа, условия залегания и характер горных пород на ней разнообразны. Рельеф определяется принадлежностью территорий республики к платформам восточной Сибирской (Западная Якутия) и Верхояно-Колымской (Восточная Якутия) [1].

Участки низменной территории присутствуют вдоль побережья Северного Ледовитого океана. Западная часть и восточная часть региона, приблизительно равные по площади, делятся рекой Леной. Рельеф в западной части относится к Средне-Сибирскому плоскогорью с высотой 250–500 м. Хребты Верхоянский, Момский и Черского составляют восточную часть рельефа Якутии. В узких горных долинах и впадинах рельеф играет важную роль в формировании зимних локальных очагов холода, что соответственно формирует приземные устойчивые инверсии при наибольшей цикличности штиля. Так, например, в Верхоянске, находящемся на высоте 137 м над уровнем моря, средняя температура января равняется –50 °С, на высоте 1350 м восточного склона Верхоянского хребта — всего –28 °С.

На южной окраине Сибирской платформы в пределах Алданского щита располагается нагорье с интенсивно расчлененным рельефом. В остальной части платформы развиты пластовые плато, плоскогорья и равнины. Рельеф, развивающийся на мезозойском складчатом основании, характеризует Верхояно-Чукотскую складчатость. Встречаются и такие низменности, которые относятся к синклинальным структурам или жестким срединным массивам. Есть и горные районы.

## 1.2 Климат

Климат Якутии отличается резкой континентальностью с высокими летними до  $+35^{\circ}\text{C}$  и с низкими зимними температурами до  $(-50, -65^{\circ}\text{C})$ .

Огромная распространенность территории с севера на юг, и с запада на восток, удалённость, границы с горными системами от Тихого и Атлантического океанов, и доступность со стороны Северного Ледовитого океана — все перечисленное является характерными факторами для этого особенного климата. Территория пролегает на арктическом, субарктическом и умеренном поясах [2].

Зима почти на всей территории сухая и малоснежная в силу резко выраженному антициклонному режиму. Наибольшее годовое количество осадков, из-за развития циклонной деятельности, выпадает летом.

Анализ данных, представленных в таблице 1.1, показывает, что максимальное количество осадков в 2010-2021 годах приходится на летне-осенний период, минимальное - на зимне-весенний (табл.1.2). Следует отметить, что максимальное годовое количество осадков было в 2013 г. (305 мм), в остальные годы, входящие в анализ, существенных различий в годовом количестве осадков не наблюдается.

Таблица 1.1 — Месячные и годовые суммы выпавших осадков в Якутске

[3]

Месячные и годовые суммы выпавших осадков, мм													
Год	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	За год
2010	6	3	4	12	41	29	26	9	23	22	20	7	202
2011	6	9	4	5	6	25	40	72	20	32	12	9	240
2012	12	9	4	18	10	20	20	51	21	35	8	7	215
2013	5	5	1	2	50	60	64	20	46	10	33	8	305
2014	7	15	5	6	4	20	75	44	24	11	20	7	237
2015	8	10	6	13	30	50	15	17	13	22	12	13	209
2016	10	7	5	1	15	34	73	36	9	7	17	14	228
2017	13	11	5	14	14	22	22	26	67	12	11	7	224
2018	16	6	5	16	21	29	27	52	25	9	16	11	233
2019	9	20	6	2	30	4	15	61	30	18	21	11	226
2020	19	15	16	15	12	28	34	9	6	28	19	15	216
2021	4	7	10	25	12	2	38	52	30	26	18	9	232
Среднее значение, мм	10	10	6	11	20	27	37	37	26	19	17	10	231

Таблица 1.2 – Среднее значение температуры за период проведения исследований по сезонам

Среднее значение температуры за период проведения исследований по сезонам, мм											
Лето			Осень			Зима			Весна		
Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май
34			21			10			12		

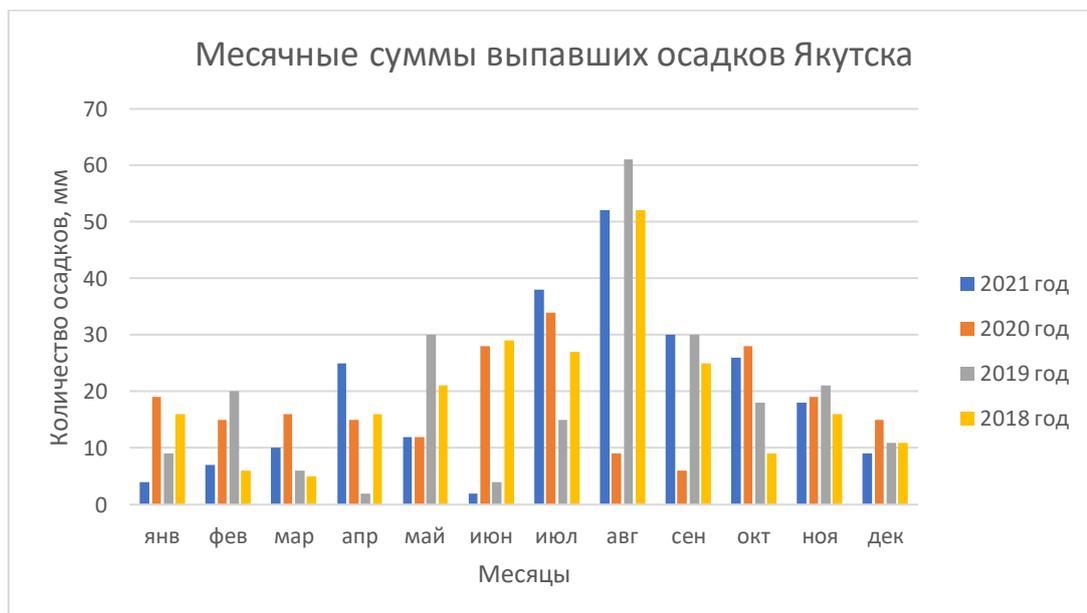


Рисунок 1.1 — График с месячными суммами выпавших осадков Якутска с 2018 по 2021 года

Наблюдается, что на территории годовое количество осадков колеблется от 200 — 250 мм. в Центральном районе Якутии выпадает 250-300 мм осадков, что соответственно приводит к частичному остепнению местности [4].

В периоде 7-8 месяцев в году лежит снег на большей части Якутии. На южной части территории снег ложиться в начале ноября, на севере - в конце сентября. Уже достигнув 16 см снежного покрова грунт защищен от холода при температуре  $-20^{\circ}$ . Соответственно, тепловой эффект снежного покрова зависит от соотношения температуры воздуха и высоты снежного покрова [5].

### 1.3 Многолетняя мерзлота

Как известно на северных территориях многолетняя мерзлота появилась достаточно давно, а именно в начале четвертичного периода. А Якутия как раз почти вся находится на территории вечной мерзлоты, кроме юго-западной части. Для Восточной Сибири характерен суровый климат, который способствует сохранению низких значений температуры мерзлого грунта.

Самая большая мощность мерзлой зоны находится в Анабарском кристаллическом массиве в пределах платформенной части Якутии. По расчетам, выполненным Ю.Г. Шасткевичем в 1966 г., мощность мерзлой зоны составила более 1000м. На территории развития терригенно-карбонатных и карбонатных отложений палеозоя по периферии Анабарской антеклизы мощность мерзлой зоны уменьшается до 500-200м.

Такую породу как талики, т.е. участки, лишенные мерзлоты, можно встретить только в самом массиве мерзлоты под руслами крупных рек. В горных районах мощность мерзлоты встречается чаще.

Так же мерзлота влияет как на гидрологические процессы, так и на различные компоненты природы, ну и конечно же на деятельность человека.

Усиление поверхностного стока водоупорного горизонта, влияющего на многоводность рек, также зависит от вечной мерзлоты.

#### 1.4 Почва

Если посмотреть на береговую территорию от Северного Ледовитого океана до Лено – Алданского нагорья, данная территория является равниной, и здесь присутствуют зональные типы мерзлотных почв. В свою очередь, основные принципы закона В.В. Докучаева вертикальной поясности почвенного покрова четко видны в горных регионах [6].

Многолетняя мерзлота оказывает очень сильное влияние на образование структуры верхнего слоя почвы в области мерзлоты, что конечно же способствует появлению своеобразных химических, физических и гидрологических свойств. Улучшению микроструктуры способствует наибольшее выхолаживание почвы в зимнее время года, но это также способствует ухудшению водопрочности макроагрегатов. Эти почвы имеют плитчато-слоистое сложение из-за того, что почвы постоянно замерзают и размораживают, что способствует изменению влажности почвы, как объемными и фазовыми. Как следствие такого физического состояния почвы,

как сложения появляется слабая вертикальная фильтрация гравитационных вод, и увеличивается отток влаги [7].

Можно сказать с уверенностью, что профиль почвы арктической пустыни, встречающейся чаще вдоль берега Восточно - Сибирского моря, состоит из маломощного гумусного горизонта, так же по профилю встречается оглеения минеральной толщи, которые лежат на мерзлом грунте.

На территории Якутии есть участки тундровых ландшафтов, которые хорошо дренируются, и такие зоны чаще всего относятся к мерзлотные тундровые глееватые почвы. Из-за своих особенностей данные почвы отличаются от других подтипов. У других подтипов почв нету глубокого сезонное протаивание, они не имеют большое накопление тепла, и в конце концов у них нету большей искущённости корнеобитаемой толщи. Особенное место по образованию и преобразованию минеральных руд между почв тундровых ландшафтов занимают тундровые глееватые почвы. Из-за того, что снега сходят раньше, и почва подвержена относительно глубокому протаиванию и сухости, следствием этого является малое поступление талых вод в мерзлую почву.

Известно, что преобладание бугорковых кустарничковых и кочкарных тундр и болот соответствует Средней субарктической подзоне. Поэтому здесь развиваются как мерзлотные тундровые перегнойно-глеевые, так и перегнойно-глееватые почвы, что в свою очередь делает возможным их использование как оленьих пастбищ в наши дни.

Вместе с тем, на территории республики мерзлотные тундровые перегнойно-торфянисто-глеевые почвы составляют основной фон верхнего почвенного слоя в Южной субарктической под территории.

В якутской северной тайге преобладают мерзлотные северотаежные почвы, такие почвы чаще всего состоят из пяти подтипов: северотаежные типичные глеевые, северотаежные перегнойно-глеевые, северотаежные оподзоленные и северотаежные деструктивные. В этом месте выявлен мерзлотный полигонально-трещиноватый тип микрорельеф. Накопителями

органических веществ и каналами поступления талых вод на данном типе микрорельефа являются межполигональные пространства.

Долины крупных рек таких как Лена, Вилюя, Алдан и Амга относятся к более исследованным и освоенным районам. Главными почвами средней тайги Якутии являются мерзлотные палевые почвы. У гидротермического режима мерзлотных палевых почв в Якутии могут иметь значительные подтиповые различия: к примеру, мерзлотные палевые переходные почвы имеют такое значительное отличие как тепловыми ресурсами, чем типичные, и глубоким до 200 см протаиванием. А мерзлотные палевые осолоделые легкосуглинистые почвы имеют сильное иссушение всего верхнего метрового слоя и обладают максимальным глубоким протаиванием до 300 см.

### 1.5 Растительность.

Растительность Центральной Якутии располагается на части территории провинции из даурской лиственницы и относится в геоботаническом отношении к Восточно-Сибирской подобласти светлохвойных лесов Евразийской хвойно-лесной области.

В Якутской на территории с низким общим уровнем рельефа находится больше таежной растительности (средняя тайга). И самым распространенным типом являются лиственнично - брусничная тайга.

Относительную редкость лесов Центральной Якутии отмечают некоторые авторы (Комаров, 1927; Зольников, 1954; Щербаков, Уртаев, 1961). В тайге также преобладают обширные безлесные пространства лугового, степного или лугово – степного типа, относящимися к долинам рек или аласам. Пестрая растительность преобладает в области древней аллювиальной равнины.

В плоских нерасчлененных местах и в районах распространения замкнутых депрессий (аласов) лиственнично – березовые и березовые леса, лиственнично – березовые травянистые редколесья, чередующиеся с

полями с луговой или лугово – степной растительностью, с пятнами солонцовой или солончаковой растительности часто приходят на смену лиственным лесам [8].

## Заключение

В данном исследовании геоинформационные системы рассмотрены как инструмент для моделирования водосборного бассейна реки Амги по данным дистанционного зондирования с использованием методики геоинформационного моделирования.

Были изучены характеристики района Республики Саха, где расположен водосборный бассейн реки Амги, со следующими физико-географическими показателями: длина реки составляет 1 462 км, максимальная ширина в устье – почти 1,4 километра, глубины не превышают 3 метров. Протекает водоем сразу по нескольким районам Якутии в направлении – северо-восток. Питание снежное и дождевое. Ледостав длится 5,5 месяцев. Подъем уровня воды в половодье достигает 7 метров.

С помощью ГИС моделей был смоделирован водосборный бассейн и определена его площадь - 69305,404 км<sup>2</sup>. Проведенный мною геоморфологический анализ модели рельефа позволил выделить основные особенности водосборного бассейна. Так же были рассчитаны и проанализированы геоморфологические параметры, что позволило создать карты уклонов, экспозиции и эрозионный потенциал. Мною были выделены зоны с наибольшей вероятностью развития эрозионных процессов 19% территории водосборного бассейна это 13290 км<sup>2</sup>, участки с возможным проявлением эрозионных процессов 81% территории который имеет площадь в 56012 км<sup>2</sup>.

Мною сделан вывод, что геоинформационная система на основе использования ДДЗ позволяет воплотить множество таких операций, как по выявлению закономерностей, проводить анализ, учет, прогноз, и непосредственно графически отображать результаты обработки. Представленная работа позволяет использовать описанные инструменты и методы их применения для других территорий.

## Список используемой литературы

1. Визе В.Ю. Климат Якутии. Издательство АН, Ленинград 1927г. - 33 с.
2. Швер Ц.А., Изюменко С.А./ Климат Якутска. / Ленинград, Гидрометеиздат 1982г. с.246
3. Погода и климат [Электронный ресурс]: месячные и годовые суммы выпавших осадков в Якутске – Режим доступа [http://www.pogodaiklimat.ru/history/24959\\_2.htm](http://www.pogodaiklimat.ru/history/24959_2.htm) (Дата обращения 15.05.2022)
4. Ермолаева Ю.Н. / Якутская комплексная экспедиция 1925-1930гг. / Развитие науки в Якутии. / Новосибирск, Наука 2001г. (с.66-103)
5. Костина Н.И. // История гидрометеорологических наблюдений в Якутии. // Фонд данных ФГБУ «Якутское УГМС»
6. Григорьев, М. Н. // Обзор современных изменений климата и природной среды в Республике Саха (Якутия). / Якутск: Изд-во «Хамелеон», 2010. – 18 с.
7. Кириллина, К.С. // Современные тенденции изменения климата Республики Саха (Якутия). // Ученые записки 2013
8. Якутия. Серия «Природные условия и естественные ресурсы СССР». – М.: Изд-во «Наука», 1965. – 468 с.
9. Моделирование систем: конспект лекций: в 2 ч.; ч. 1 / М.А. Беляева; Моск. гос. ун-т печати имени Ивана Федорова. – М.: МГУП имени Ивана Федорова. – 188 с.
10. Борщев А.В. Как строить простые, красивые и полезные модели сложных систем // Сборник докладов шестой всероссийской научнопрактической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2013). Том 1. // ISBN 978-5-9690-0221-0 // Издательство «ФЭН» Академии наук РТ. – Казань, 2013. – с. 21-34.
11. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Свойства управленческих моделей // Славянский форум, 2012. – № 1(1). – С.245-249.
12. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Технология построения и анализа топологических структур для геоинформационных систем и систем

- автоматизированного проектирования // Вестник Томского государственного университета. – 2002. – № 275. – С. 60-63.
13. Булгаков С.В. Основы геоинформационного моделирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 77-80.
14. Капралов Е.Г. Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.]; под ред. В.С. Тикунова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.
15. Миронова Ю.Н. Моделирование местности в геоинформационных системах // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук – 2016. – № 04 (87). – С. 116-121.
16. Кащенко Н. А. Геоинформационные системы [Текст]: учебн. пос. для вузов / Н.А. Кащенко, Е.В. Попов, А.В. Чечин; Нижегород. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – 130 с. ISBN 978-5-87941-863
17. Реки и озера Якутии: крат, справ. / С.К. Аржакова [и др.; отв. ред. В.И. Агеев]; М-во об- РЗб образования и науки РФ, Якут. гос. ун-т им. М.К.Аммосова. Якутск: Бичик, 2007. — 136 с.: ил
18. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, vol. 33. / Hengl T., Reuter H.I. (Eds.) – Elsevier, 2008 – 772 p.
19. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications / Hengl T., Reuter H.I. (Eds.). Amsterdam: Elsevier, 2009. – 796 p
20. Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography // Earth Surface Processes and Landforms, 1987. – Vol. 12(1). – P. 47-21.
21. Гродзинский М.Д. Ландшафтная экология: Учебник. – Киев, 2013. – 222 с
22. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1980. – 327 с